



BusUAH

Proyecto de aplicación para bus del campus

Luis Miguel Herrá Alpuente: luis.herra@edu.uah.es

Colaboradores:

Claudia Alfonso Redondo: claudia.alfonso@edu.uah.es

Contenido

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Resumen Ejecutivo | 4 |
| 2. Introducción y Contexto..... | 4 |
| 2.1 Descripción del Campus Científico Tecnológico | 4 |
| 2.2 Servicio actual de bus interno | 4 |
| 2.3 Motivación del proyecto..... | 5 |
| 3. Análisis del Problema | 6 |
| 3.1 Falta de información en tiempo real | 6 |
| 3.2 Impacto en estudiantes y personal..... | 6 |
| 3.3 Limitaciones de los horarios teóricos | 6 |
| 3.4 Limitaciones de la solución actual basada en horarios teóricos..... | 7 |
| 4. Objetivos del Proyecto..... | 7 |
| 4.1 Objetivo general | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.2 Objetivos específicos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4.3 Criterios de éxito | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5. Solución Propuesta | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.1 Visión general de la solución | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.2 Propuesta de valor | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.3 Beneficios para los usuarios..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5.4 Diferenciación frente a alternativas existentes; | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6. Alcance del Sistema..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.1 Ruta cubierta y paradas | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2 Horarios de funcionamiento | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3 Funcionalidades incluidas..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4 Funcionalidades fuera de alcance | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7. Arquitectura Técnica del Sistema | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1 Fuentes de Datos de Localización del Bus | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1.1 Opción A — Aplicación del conductor (MVP); | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1.2 Opción B — Localizador GPS dedicado (Producción); | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1.3 Opción C — Inferencia por ubicación de usuarios (descartada); | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.1.4 Comparativa de alternativas | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.2 Backend y API..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.2.1 Tecnologías utilizadas | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.2.2 Flujo de datos y comunicación..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.2.3 Gestión de posiciones en memoria | ¡Error! Marcador no definido. |

| | |
|---|-------------------------------|
| 7.2.4 Comunicación en tiempo real (WebSockets) | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.3 Lógica de Estimación de Tiempo de Llegada (ETA) | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.3.1 Cálculo de velocidad y dirección | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.3.2 Uso de posiciones recientes | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.3.3 Mejora futura mediante datos históricos. | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.4 Gestión de disponibilidad del servicio | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.4.1 Activación por franja horaria | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7.4.2 Estado fuera de servicio | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8. Aplicaciones Cliente | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.1 Aplicación del conductor | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.1.1 Plataforma y tecnologías | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.1.2 Funcionalidades | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.1.3 Consideraciones técnicas y operativas | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.2 Aplicación para estudiantes (móvil) | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.2.1 Funcionalidades principales | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.2.2 Notificaciones push | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.2.3 Persistencia local de preferencias | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.3 Aplicación web | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.3.1 Casos de uso | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8.3.2 Diferencias frente a la aplicación móvil | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9. Seguridad, Privacidad y Ética | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9.1 Datos recogidos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9.2 Datos no recogidos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9.3 Riesgos y mitigaciones | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10. Costes y Recursos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10.1 Costes de hardware | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10.2 Costes operativos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10.3 Costes de mantenimiento | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10.4 Escalabilidad de costes | ¡Error! Marcador no definido. |
| 11. Plan de Implementación | ¡Error! Marcador no definido. |
| 11.1 Fases del proyecto | ¡Error! Marcador no definido. |
| 11.2 Cronograma estimado | ¡Error! Marcador no definido. |
| 11.3 Riesgos técnicos y operativos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 12.4 Impacto en la comunidad universitaria | ¡Error! Marcador no definido. |

12. Conclusiones y Próximos Pasos..... ¡Error! Marcador no definido.

1. Resumen Ejecutivo

El Campus Científico Tecnológico de la **Universidad de Alcalá** dispone de un servicio de bus interno gratuito que conecta distintos edificios clave del campus con el apeadero de Cercanías Alcalá-Universidad. Aunque el servicio cuenta con un horario y una frecuencia teórica definidos, actualmente los usuarios no disponen de información en tiempo real sobre la posición del bus, lo que genera incertidumbre y decisiones ineficientes en los desplazamientos diarios; ¿debería ir andando o esperar al bus?

El proyecto **BusUAH** propone un sistema ligero, de bajo coste y alta fiabilidad para el seguimiento en tiempo real del bus interno, permitiendo a estudiantes y personal conocer en todo momento la ubicación del vehículo, el tiempo estimado de llegada (ETA) a cada parada y recibir notificaciones automáticas cuando el bus se aproxima a su punto habitual.

La solución se basa en una arquitectura sencilla y eficiente: una API central que recibe periódicamente la posición del bus y la distribuye en tiempo real a las aplicaciones cliente mediante WebSockets. El sistema está diseñado para funcionar exclusivamente durante las franjas horarias del servicio, evitando consumo innecesario de recursos. No se recopilan datos personales de los usuarios, garantizando la privacidad desde el diseño.

El proyecto contempla distintas fuentes posibles para la obtención de la localización del bus, desde una aplicación móvil para el conductor hasta un localizador GPS dedicado para un entorno de producción, descartando explícitamente enfoques basados en la inferencia de ubicación de usuarios por su privacidad y dependencia al usuario.

Gracias a su bajo coste operativo, simplicidad técnica y alto impacto en la experiencia diaria de los usuarios, BusUAH se presenta como una solución viable y alineada con las necesidades reales de la comunidad universitaria.

2. Introducción y Contexto

2.1 Descripción del Campus Científico Tecnológico

El Campus Científico Tecnológico de la Universidad de Alcalá concentra diversas facultades y servicios universitarios en una distancia considerable. La distancia entre algunos edificios y los principales puntos de acceso al campus hace necesario el uso de transporte interno para garantizar la movilidad eficiente de estudiantes, personal docente y personal administrativo.

2.2 Servicio actual de bus interno

El servicio de bus interno conecta el apeadero de Cercanías Alcalá-Universidad con varias paradas estratégicas del campus, incluyendo edificios como Farmacia, Medicina y la Escuela Politécnica. Opera únicamente en días lectivos, dentro de unas franjas horarias determinadas, con una frecuencia teórica aproximada de 15 minutos. En la situación actual, la única información disponible para los usuarios es:

- El recorrido del bus, el horario general de funcionamiento, la frecuencia teórica estimada

No existe ningún sistema que informe sobre retrasos, adelantamientos o la posición real del vehículo en cada momento.

2.3 Motivación del proyecto

La ausencia de información en tiempo real genera una experiencia de usuario deficiente. Los estudiantes y el personal se ven obligados a decidir entre esperar al bus o desplazarse a pie sin información objetiva, lo que puede resultar en pérdidas de tiempo, retrasos en clases o desplazamientos innecesarios.

La motivación principal de este proyecto es **reducir la incertidumbre** asociada al uso del bus interno mediante una solución tecnológica sencilla, accesible y respetuosa con la privacidad. A diferencia de sistemas complejos o comerciales utilizados en grandes redes de transporte urbano, el contexto del campus permite una solución mucho más ligera, específica y eficiente.

Campus Bus Tracker nace con el objetivo de cubrir esta necesidad concreta, mejorando la movilidad interna del campus y la experiencia diaria de sus usuarios, sin introducir costes elevados ni dependencias tecnológicas innecesarias. De estudiantes, para estudiantes.

3. Análisis del Problema

3.1 Falta de información en tiempo real

El principal problema del servicio de bus interno del Campus Científico Tecnológico de la **Universidad de Alcalá** es la ausencia total de información en tiempo real sobre la ubicación del vehículo. Aunque existe un horario y una frecuencia teórica definidos, estos no reflejan el estado real del servicio en cada momento.

Factores como el tráfico interno del campus, el número de pasajeros, las paradas prolongadas o incidencias puntuales pueden alterar significativamente la frecuencia real del bus, haciendo que la información estática pierda valor práctico para los usuarios. A efectos prácticos, un cambio en un recorrido determinado puede suponer un descuadre del horario teórico al completo, haciendo que no sea fiable encontrar el bus siempre en un mismo horario.

3.2 Incertidumbre en la toma de decisiones

Ante la falta de datos objetivos, los usuarios se ven obligados a tomar decisiones basadas en suposiciones:

- Esperar al bus sin saber si llegará en uno o diez minutos.
- Optar por desplazarse a pie y descubrir posteriormente que el bus pasaba en breve.
- Llegar con excesiva antelación a una parada “por si acaso”.

Esta incertidumbre afecta negativamente a la planificación diaria, especialmente en cambios de clase ajustados en tiempo o en condiciones meteorológicas adversas.

3.3 Impacto en la experiencia del usuario

La experiencia de uso del servicio se ve deteriorada por:

- Pérdida de tiempo
- Estrés innecesario

- Sensación de servicio poco fiable, aunque el bus funcione correctamente

El problema no reside en el servicio de transporte en sí, sino en **la falta de información**, lo que convierte un servicio potencialmente eficiente en uno percibido como impredecible.

3.4 Limitaciones de la solución actual basada en horarios teóricos

Los horarios teóricos cumplen una función informativa general, pero no permiten:

- Detectar retrasos o adelantamientos
- Ajustar decisiones en tiempo real
- Conocer el estado del servicio en un momento concreto

En un entorno cerrado y acotado como un campus universitario, donde el recorrido es fijo y el número de vehículos es reducido, estas limitaciones podrían resolverse con una solución técnica sencilla y de bajo coste, actualmente inexistente. Estos problemas están relacionados con el entorno en el que se desarrolla el servicio, sin reflejar ninguna deficiencia en la labor del conductor.

4. Objetivos del Proyecto

4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de seguimiento en tiempo real del bus interno del Campus Científico Tecnológico que proporcione información fiable, accesible y actualizada a los usuarios, mejorando la experiencia de movilidad interna sin introducir complejidad ni costes elevados.

4.2 Objetivos específicos

- Proporcionar la **posición en tiempo real** del bus a través de aplicaciones móviles y web.
- Calcular y mostrar el **tiempo estimado de llegada (ETA)** a cada parada del recorrido.
- Permitir a los usuarios configurar su parada habitual y horario, recibir **notificaciones automáticas** cuando el bus se aproxima en dicho horario.
- Diseñar una arquitectura técnica **ligera, eficiente y de bajo coste operativo**.
- Garantizar la **privacidad de los usuarios**, evitando la recogida de datos personales o de localización individual.
- Limitar el funcionamiento del sistema a las **frangas horarias reales del servicio**, optimizando recursos.

4.3 Criterios de éxito

El proyecto se considerará exitoso si:

- Los usuarios pueden conocer de forma fiable la posición del bus en tiempo real.
- El sistema proporciona estimaciones de llegada coherentes con la realidad.
- El servicio funciona de manera estable durante las franjas horarias establecidas.
- El coste operativo se mantiene prácticamente constante independientemente del número de usuarios.
- La solución es percibida como útil y mejora la experiencia diaria de movilidad en el campus.

5. Solución Propuesta

5.1 Visión general de la solución

BusUAH es un sistema de información en tiempo real que permite conocer la posición exacta del bus interno del Campus Científico Tecnológico de la **Universidad de Alcalá**, así como estimar su tiempo de llegada a cada parada del recorrido.

La solución se compone de tres elementos principales:

- Una **fuentes de localización del bus** (aplicación del conductor o dispositivo GPS dedicado).
- Una **API central** que recibe, procesa y distribuye la información.
- **Aplicaciones cliente** (móvil y web) que muestran la información al usuario final de forma clara e inmediata.

El sistema está diseñado específicamente para un entorno de campus: recorrido fijo, número reducido de vehículos y horarios bien definidos, lo que permite una solución técnica más sencilla y eficiente que las empleadas en redes de transporte urbano complejas.

5.2 Funcionamiento general del sistema

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

1. La fuente de localización envía periódicamente la posición del bus a la API.
2. La API procesa la información y mantiene en memoria las últimas posiciones válidas.
3. Cuando se recibe una nueva posición, esta se distribuye instantáneamente a todos los clientes conectados mediante comunicación en tiempo real.
4. A partir de las posiciones recientes, el sistema calcula la velocidad y dirección del bus para estimar el tiempo de llegada a cada parada.
5. Las aplicaciones cliente muestran la información y gestionan notificaciones automáticas para los usuarios.

Este enfoque evita consultas constantes al servidor y permite una experiencia fluida incluso con un gran número de usuarios conectados simultáneamente. La latencia de la API se regula en función del tráfico de usuarios o manualmente por un administrador.

5.3 Propuesta de valor

La propuesta de valor de BusUAH se basa en cuatro pilares fundamentales:

- **Información en tiempo real:** elimina la incertidumbre asociada a los horarios teóricos.
- **Simplicidad:** interfaz clara y sin funcionalidades innecesarias.
- **Privacidad por diseño:** no se recopilan datos personales ni ubicaciones de los usuarios.
- **Bajo coste:** infraestructura mínima con costes operativos muy reducidos.

La solución aporta un alto impacto percibido con una inversión técnica y económica mínima.

5.4 Beneficios para los usuarios

Los beneficios directos para los usuarios incluyen:

- Capacidad de decidir con criterio entre esperar el bus o desplazarse a pie.
- Reducción de tiempos muertos y retrasos.
- Mejora de la planificación diaria de desplazamientos.
- Menor estrés asociado a la incertidumbre del transporte.

5.5 Diferenciación frente a alternativas existentes

A diferencia de:

- **Horarios estáticos**, BusUAH refleja el estado real del servicio.
- **Sistemas basados en inferencia de usuarios**, no depende de masa crítica ni compromete la privacidad.
- **Soluciones comerciales de transporte**, no introduce complejidad ni costes innecesarios para un entorno acotado.

La solución está diseñada específicamente para el contexto universitario, optimizando simplicidad, fiabilidad y sostenibilidad.

6. Alcance del Sistema

6.1 Ruta cubierta y paradas

El sistema cubre el recorrido completo del bus interno del Campus Científico Tecnológico, que conecta el apeadero de Cercanías Alcalá-Universidad con las siguientes paradas principales:

- Farmacia
- Medicina
- Escuela Politécnica

El recorrido se considera fijo y conocido, lo que permite simplificar los cálculos de estimación y visualización.

6.2 Horarios de funcionamiento

Bus UAH solo está activo durante las franjas horarias reales del servicio de bus:

- Días lectivos
- Franja de mañana
- Franja de tarde

Fuera de estos horarios, el sistema muestra explícitamente un estado de “**fuera de servicio**”, evitando confusión y consumo innecesario de recursos.

6.3 Funcionalidades incluidas

El alcance funcional del sistema incluye:

- Visualización de la posición del bus en tiempo real.
- Cálculo y visualización del tiempo estimado de llegada (ETA) a cada parada.
- Actualización automática de la información sin necesidad de recargar.
- Configuración local de parada habitual por parte del usuario.
- Envío de notificaciones automáticas cuando el bus se aproxima a la parada seleccionada.
- Subir horario del usuario para notificaciones personalizadas.

6.4 Funcionalidades fuera de alcance

Quedan explícitamente fuera del alcance de esta versión del sistema:

- Gestión de múltiples rutas o líneas.
- Gestión de múltiples vehículos simultáneos.
- Integración con sistemas externos de transporte.
- Sistemas de autenticación de usuarios.
- Monetización o publicidad dentro de la aplicación.

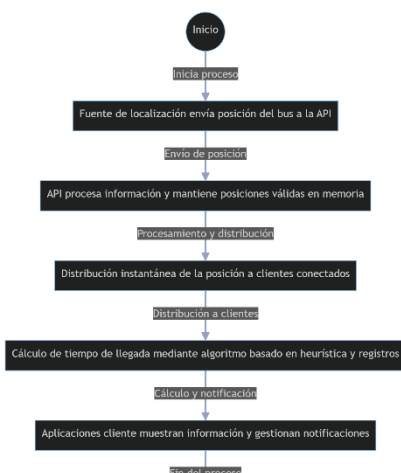
Estas limitaciones permiten mantener el sistema simple, robusto y alineado con los objetivos iniciales del proyecto. Se podría valorar incorporar anuncios de la propia universidad a fin de promocionar sus actividades.

7. Arquitectura Técnica del Sistema

7.1 Fuentes de Datos de Localización del Bus

BusUAH ha sido diseñado para admitir distintas fuentes de localización del bus, permitiendo adaptar la solución a diferentes fases del proyecto o preferencias (MVP, piloto o producción) sin modificar la arquitectura general.

Se han evaluado tres enfoques distintos para la obtención de la posición del vehículo, de los cuales dos se consideran viables y uno se descarta explícitamente por motivos técnicos, operativos y éticos.



7.1.1 Opción A — Aplicación del conductor (MVP)

Esta opción consiste en una aplicación móvil específica para el conductor del bus, no comercializada ni distribuida públicamente, cuya única función es enviar periódicamente la ubicación GPS del dispositivo a la API central.

La aplicación permite:

- Iniciar y detener el turno de seguimiento de forma manual, añadir espera en paradas.
- Ejecutar el seguimiento de ubicación en segundo plano a nivel de sistema operativo.
- Enviar la posición mediante peticiones HTTP POST directamente a la API alojada en Railway.

Ventajas:

- Coste inicial nulo.
- Implementación rápida.
- Ideal para validación del concepto y pruebas piloto.
- No requiere hardware adicional.

Inconvenientes:

- Dependencia directa del conductor.
- Riesgo de olvido en el inicio del turno.
- Posibles restricciones del sistema operativo en segundo plano.

Esta opción se considera adecuada especialmente para una fase inicial del proyecto.

7.1.2 Opción B — Localizador GPS dedicado (Producción)

La opción recomendada para un entorno de producción es el uso de un dispositivo GPS dedicado instalado de forma permanente en el vehículo, como el modelo FMB920 del fabricante **Teltonika**.

Este dispositivo:

- Envía automáticamente la posición del vehículo mediante una SIM de datos.
- Permite configurar el envío por intervalo de tiempo o por distancia recorrida.
- Funciona de manera autónoma, sin intervención humana.

Ventajas:

- Alta fiabilidad y estabilidad.
- Independencia total del conductor.
- Funcionamiento continuo y predecible.

Inconvenientes:

- Coste inicial de hardware.

- Coste reducido asociado a la SIM de datos.
- El conductor no puede indicar, directamente, el tiempo de espera por parada.

7.1.3 Opción C — Inferencia por ubicación de usuarios (descartada)

Esta alternativa consistiría en inferir la posición del bus a partir de las ubicaciones de múltiples usuarios que se desplazan en él, mediante agregación y análisis estadístico.

Motivos de descarte:

- Requiere una masa crítica elevada de usuarios activos.
- Alta imprecisión en franjas de baja ocupación (ej. el bus hace el recorrido de vuelta).
- Dependencia directa del comportamiento del usuario.
- Complejidad técnica innecesaria para el contexto.
- Implicaciones negativas de privacidad y percepción.

Esta opción no se alinea con los principios de simplicidad, fiabilidad y privacidad del proyecto.

7.1.4 Comparativa de alternativas

| Criterio | App conductor | GPS dedicado | Inferencia usuarios |
|--------------------|---------------|--------------|---------------------|
| Coste inicial | Muy bajo | Medio | Bajo |
| Fiabilidad | Alta | Alta | Media |
| Dependencia humana | Media | Nula | Alta |
| Privacidad | Alta | Alta | Baja |

7.2 Backend y API

La API central actúa como núcleo del sistema y es responsable de recibir, procesar y distribuir la información de localización del bus.

Está desarrollada en Node.js utilizando Express para la gestión de peticiones HTTP y Socket.IO para la comunicación en tiempo real. El servicio se encuentra alojado en una plataforma cloud ligera, con un coste operativo mensual reducido, estable y configurable. Railway emplea un modelo *pay as you go* donde su coste es proporcional al número de usuarios, teniendo un techo de usuarios claro (estudiantes de campus que emplean el bus), podemos predecir con facilidad el coste máximo de la aplicación.

7.2.1 Flujo de datos

1. La fuente de localización envía periódicamente la posición del bus a la API.
2. La API valida y normaliza las coordenadas recibidas.
3. Se almacenan en memoria las últimas posiciones únicas, 5 por defecto.
4. La nueva posición se emite instantáneamente a los clientes conectados.

5. Se recalculan las estimaciones de llegada a cada parada.

7.2.2 Gestión de posiciones en memoria

Para evitar duplicados y reducir ruido:

- Las coordenadas se redondean a cuatro decimales.
- Se utiliza un HashMap en memoria como estructura principal.
- Se mantienen únicamente las últimas cinco posiciones únicas.

7.2.3 Comunicación en tiempo real

La distribución de la información se realiza mediante WebSockets, permitiendo:

- Actualizaciones instantáneas.
- Eliminación de polling continuo.
- Escalabilidad con múltiples usuarios concurrentes.

7.3 Lógica de Estimación de Tiempo de Llegada (ETA)

A partir de las últimas posiciones almacenadas, el sistema calcula:

- Velocidad media del vehículo.
- Dirección de desplazamiento.
- Tiempo estimado de llegada a cada parada.
- Registros previos entre parada y parada.

Este cálculo se realiza en tiempo real y se actualiza con cada nueva posición recibida.

7.3.1 Mejora mediante datos históricos (futuro)

En una fase posterior, podría valorarse que el sistema datos históricos por franja horaria para:

- Ajustar las estimaciones.
- Suavizar variaciones puntuales.
- Mejorar la precisión percibida.

No se realiza inicialmente dado que: se pueden estimar tiempos con un único viaje de bus; realiza siempre el mismo recorrido, involucra almacenamiento de posiciones.

7.4 Gestión de disponibilidad del servicio

La API solo permanece activa durante las franjas horarias reales del servicio de bus. Fuera de ese horario:

- No se procesan posiciones.
- Se informa a los clientes del estado “fuera de servicio”.

Este enfoque optimiza recursos y evita confusión en los usuarios.

8. Aplicaciones Cliente

El sistema BusUAH dispone de distintas aplicaciones cliente, cada una diseñada para un rol específico dentro del sistema. Esta separación permite mantener interfaces simples, minimizar errores operativos y adaptar cada aplicación a su caso de uso concreto.

8.1 Aplicación del conductor

Esta aplicación estará disponible únicamente si este es el enfoque escogido. La aplicación del conductor es una aplicación móvil **no comercializada**, destinada **exclusivamente** al envío de la posición del bus durante el servicio.

Su diseño prioriza la simplicidad y la fiabilidad, evitando cualquier funcionalidad innecesaria que pueda distraer al conductor o aumentar la probabilidad de errores.

8.1.1 Plataforma y tecnologías

La aplicación está desarrollada en **React Native** utilizando **Expo**, lo que permite:

- Desarrollo rápido multiplataforma.
- Acceso a las APIs nativas de localización.
- Ejecución de tracking en segundo plano a nivel de sistema operativo.

La comunicación con la API se realiza mediante peticiones HTTP POST directas al endpoint público del backend.

8.1.2 Funcionalidades

La aplicación del conductor incluye únicamente:

- Pantalla única.
- Botón de **inicio de turno**, que activa el envío de ubicación.
- Botón de **fin de turno**, que detiene el seguimiento.
- Envío automático y periódico de la posición GPS mientras el turno está activo.
- Determinar espera: el conductor, en casos excepcionales, puede determinar el tiempo de espera en una parada concreta.

No existe ningún tipo de autenticación ni gestión de usuarios, ya que la aplicación no está destinada a un uso generalizado.

8.1.3 Consideraciones técnicas y operativas

- El seguimiento se ejecuta en segundo plano para evitar interrupciones.
- La frecuencia de envío está ajustada para equilibrar precisión y consumo de batería.
- La simplicidad de la interfaz reduce el riesgo de errores humanos.

8.2 Aplicación para estudiantes (móvil)

La aplicación móvil para estudiantes es el principal punto de interacción con el sistema y está orientada a ofrecer información clara, inmediata y útil para la toma de decisiones diarias.

8.2.1 Funcionalidades principales

La aplicación permite:

- Visualizar la **posición del bus en tiempo real** sobre el recorrido.
- Consultar el **tiempo estimado de llegada (ETA)** a cada parada.
- Ver el estado del servicio (activo / fuera de servicio).
- Configurar (localmente) una **parada habitual u horario**.

La información se actualiza automáticamente mediante comunicación en tiempo real, sin necesidad de recargar manualmente.

8.2.2 Notificaciones push

La aplicación incluye un sistema de notificaciones push nativas que:

- Se activan cuando el bus se aproxima a la parada configurada por el usuario.
- Funcionan sin servicios externos de terceros.
- No requieren registro ni cuenta de usuario.

Las preferencias del usuario se almacenan localmente en el dispositivo.

8.2.3 Privacidad y persistencia local

- No se recopilan datos personales.
- No se envía la ubicación del usuario al servidor.
- La parada y horarios habituales se guardan únicamente en local.

Este enfoque refuerza el principio de **privacidad por diseño** del sistema.

8.3 Aplicación web

La aplicación web ofrece una alternativa accesible desde cualquier navegador, pensada principalmente para: Consultas rápidas, Uso desde ordenadores del campus, Usuarios ocasionales.

8.3.1 Casos de uso

La aplicación web permite:

- Visualizar la posición del bus en tiempo real.
- Consultar el ETA a cada parada.
- Ver el estado del servicio.

No incluye funcionalidades dependientes del sistema operativo, como notificaciones push nativas.

8.3.2 Diferencias frente a la aplicación móvil

| Característica | App móvil | App web |
|------------------------|-----------|----------|
| Tiempo real | Sí | Sí |
| Notificaciones push | Sí | No |
| Persistencia local | Sí | Limitada |
| Acceso sin instalación | No | Sí |

9. Seguridad, Privacidad y Ética

Desde su concepción, BusUAH ha sido diseñado siguiendo el principio de **privacidad por diseño**, priorizando la minimización de datos y evitando cualquier tratamiento innecesario de información sensible.

9.1 Datos recogidos

El sistema únicamente recoge:

- Posición geográfica del **vehículo** (bus interno).
- Marca temporal asociada a cada posición.

No se recoge ningún dato relacionado con personas físicas, usuarios finales o conductores.

9.2 Datos no recogidos

De forma explícita, el sistema **no recoge**:

- Ubicación de los usuarios.
- Identificadores personales.
- Información de dispositivos de los usuarios.
- Datos de uso individualizado.
- Historial de desplazamientos personales.

Esta decisión arquitectónica elimina la necesidad de:

- Registro de usuarios.
- Gestión de consentimientos complejos.
- Cumplimiento de obligaciones avanzadas en materia de protección de datos personales.

9.3 Seguridad del sistema

Las medidas de seguridad adoptadas incluyen:

- Endpoints de API no públicos para escritura de posiciones.
- Separación clara entre clientes emisores (bus) y receptores (usuarios).
- Validación básica de datos recibidos.
- Infraestructura cloud gestionada con configuraciones mínimas y controladas.

Dado el carácter no crítico del sistema y la ausencia de datos sensibles, se adopta un enfoque de seguridad proporcional al riesgo.

10. Costes y Recursos

Uno de los principales objetivos del proyecto es demostrar que es posible mejorar significativamente la experiencia de movilidad interna con **costes mínimos y controlados**.

10.1 Costes de hardware

El sistema puede funcionar sin hardware específico. No obstante, para una implantación en producción se contempla la opción de:

Dispositivo GPS dedicado - Teltonika FMB920:

- Coste aproximado: **45 € + tarjeta sim**

No se requieren sensores adicionales ni equipamiento complejo.

10.2 Costes operativos

Los costes operativos del sistema son muy reducidos e independientes del número de usuarios:

- Infraestructura backend (API + WebSockets):
 - Coste máximo aproximado: **4€ / mes**
- Tráfico de datos del localizador GPS:
 - Consumo bajo, coste reducido, depende de tarjeta sim

El tráfico principal del sistema es constante y proviene únicamente del envío periódico de la posición del bus. La periodicidad del envío se adapta al número de usuarios.

10.3 Costes de mantenimiento

El mantenimiento del sistema se limita a:

- Actualizaciones puntuales del backend.
- Mantenimiento básico de las aplicaciones cliente.
- Sustitución del dispositivo GPS en caso de fallo.

No se requieren: Equipos dedicados, soporte continuo, intervención diaria.

10.4 Escalabilidad de costes

El coste se ajusta al número de usuarios, dado que el número de usuarios es aproximadamente constante a lo largo de los años, el coste también lo será. Siendo sencillo estimar un coste máximo del proyecto.

11. Plan de Implementación

El plan de implementación de BusUAH es deliberadamente sencillo, ya que el sistema software se encuentra **desarrollado y funcional** con mockup data. La fase principal del proyecto no consiste en un desarrollo extenso, sino en su **puesta en funcionamiento real**, validación operativa y refinamiento.

11.1 Estado actual del sistema

En el momento de la implantación:

- El backend y la API están implementados con mockup data.
- Las aplicaciones cliente están desarrolladas.
- La arquitectura ha sido validada a nivel técnico gracias al mockup data.
- El sistema es plenamente operativo en entorno controlado.

Por tanto, no se requiere una fase clásica de desarrollo, sino tareas de despliegue y validación. En otras palabras, puesta en práctica para verificar su correcto funcionamiento y posterior lanzamiento.

11.2 Fases de implementación

Fase 1 — Despliegue del sistema

- Publicación del backend en el entorno cloud.
- Configuración de endpoints de recepción de posiciones.
- Verificación del funcionamiento en tiempo real con múltiples clientes conectados.
- Activación del sistema únicamente en las franjas horarias reales del servicio.
- Opcionalmente: registro de tiempos entre paradas.

Esta fase permite que el sistema esté técnicamente disponible para su uso.

Fase 2 — Validación operativa

- Pruebas en condiciones reales durante días lectivos.
- Verificación de estabilidad del sistema.
- Comprobación de la correcta recepción y emisión de posiciones.
- Evaluación de la experiencia de usuario básica.

En esta fase se detectan posibles ajustes menores sin modificar la arquitectura.

Fase 3 — Producción

En el caso de utilizar la aplicación móvil del conductor como fuente de localización:

- Se consultará explícitamente la conformidad del conductor.
- Se explicará el funcionamiento y alcance del sistema.
- Se aclarará que no se recogen datos personales ni de rendimiento individual.

Este paso es fundamental para garantizar un uso voluntario, transparente y sin fricciones operativas.

Publicación de la aplicación en la página web, google play o apple store, aplicación ya disponible para el usuario.

11.3 Cronograma estimado

Dado que el sistema ya está desarrollado, el cronograma es reducido:

- Despliegue técnico: inmediato.
- Validación operativa: corto plazo.
- Estabilización del sistema: continua.

La implantación puede realizarse sin interrumpir el servicio actual de bus. De permitirse el proyecto su implementación podría ser en una semana.

11.4 Riesgos operativos y mitigaciones

| Riesgo | Mitigación |
|---|---|
| No activación del sistema por parte del conductor | Uso de GPS dedicado en fase posterior |
| Pérdida temporal de señal GPS | Uso de posiciones previas y ETA aproximado |
| Errores menores de estimación | Ajuste progresivo mediante observación real |
| Falta de adopción inicial | Simplicidad y valor inmediato para el usuario |

11.5 Consideraciones finales sobre la implementación

El enfoque de implementación prioriza:

- Realismo operativo.
- Bajo impacto organizativo.
- Transparencia con las personas implicadas.
- Mejora progresiva basada en uso real.

Este planteamiento reduce riesgos y facilita una posible adopción institucional futura por parte de la **Universidad de Alcalá**.

14. Conclusiones y Próximos Pasos

El proyecto **BusUAH** demuestra que es posible mejorar de forma significativa la experiencia de movilidad interna en el Campus Científico Tecnológico de la **Universidad de Alcalá** mediante una solución tecnológica sencilla, específica y de bajo coste.

El problema identificado: la falta de información en tiempo real sobre el bus interno, **no está relacionado con la calidad del servicio de transporte**, sino con la ausencia de datos accesibles para los usuarios. BusUAH aborda directamente esta carencia proporcionando información clara, fiable y actualizada sin introducir complejidad innecesaria ni comprometer la privacidad.

Desde el punto de vista técnico, el sistema presenta una arquitectura ligera y robusta, validada y ya implementada, que:

- No depende de bases de datos ni infraestructuras complejas.
- Mantiene costes operativos prácticamente constantes.
- Es independiente del número de usuarios finales.
- Respeto el principio de minimización de datos.

La evaluación de distintas fuentes de localización del bus refuerza la madurez del proyecto, al ofrecer alternativas viables para diferentes fases y descartar explícitamente aquellas que no se alinean con los valores del sistema, como la inferencia basada en la ubicación de usuarios. El próximo paso sería validar el proyecto por parte de ambas partes, universidad y empresa autobusera, para comenzar con el desarrollo de la fase 1. Puede acceder a un borrador de la aplicación web en: kokoworks.es/BusUAH

En conjunto, BusUAH se posiciona como una solución viable, sostenible y alineada con las necesidades reales de la comunidad universitaria.



