

# **EL AUTOBÚS AUTÓNOMO: ANÁLISIS DE PERCEPCIÓN A TRAVÉS DE VARIABLES LATENTES**

**Andrés Pereira Rodríguez**

Ingeniero Civil y Territorial, Doctorando UPM, España

**María Eugenia López-Lambas**

Profesora de Transportes, TRANSyT-UPM, España

**Pablo Cidón Martínez**

Ingeniero Civil y Territorial, Vectio Traffic Engineering S.L., España

## **RESUMEN**

Desde hace unos años, los análisis mediante datos georreferenciados por telefonía se han convertido en una alternativa económica a las encuestas tradicionales. Si bien proporcionan datos más fiables, los móviles no permiten el análisis de la toma de decisiones que, en muchas ocasiones, ni el propio usuario es verdaderamente consciente de los factores que le condicionan.

En este contexto, el análisis factorial de variables latentes se convierte en una herramienta indispensable. Estas son aleatorias y no observadas directamente, siendo modeladas a través del estudio de la variabilidad en otras variables sí observables. En términos prácticos, a partir de las respuestas de los encuestados a preguntas sencillas, éstas se pueden agrupar en diferentes variables latentes. Estas preguntas por sí mismas no tienen valor alguno, sino que es la variable que obtenemos de manera indirecta la que nos va a resultar de utilidad.

En el presente artículo, se muestran los principales resultados del análisis factorial de las encuestas realizadas en el Puerto de Málaga dentro del proyecto AUTOMOST: Automated driving for dual-Mode System Transport, para el estudio de la aceptabilidad de la implantación de una línea de autobús autónomo que conectara la terminal de cruceros y el centro urbano. A partir de cinco temáticas que la bibliografía y la experiencia nos decían que podrían ser influyentes (Tecnofilia, Seguridad Vial, Valores Medioambientales y Seguridad Física), se ha podido identificar que la más determinante para el rechazo es la tecnofobia. Esta variable está determinada por la edad y el nivel de formación, por lo que el perfil que presentará mayor aversión es de una persona de avanzada edad con bajo nivel de estudios.

Aunque en líneas generales el modelo muestra gran aceptabilidad al vehículo autónomo para el transporte colectivo, será necesaria la realización de campañas específicas para reducir el rechazo de este tipo de usuarios.

## 1. ANTECEDENTES

La automatización del transporte es una de las principales metas del sector, pues implica una optimización de recursos, tanto en la amortización del material móvil como en la mejora de la capacidad de la red, en muchos casos ya saturada. Además, se estima un aumento en la seguridad, una mejora en la eficiencia energética y, por tanto, una reducción de las emisiones de gases contaminantes. En otras palabras, cambiará de manera significativa la movilidad y la relación del usuario con el transporte.

Ante este nuevo paradigma en la movilidad, surge la necesidad de comprender la aceptabilidad que pueda tener el vehículo autónomo y, sobre todo, si puede afectar a la elección modal o su rechazo si se trata del transporte público. Es en este contexto donde nace y se desarrolla el proyecto AUTOMOST (*Guiado Automatizado para Sistema de transporte dual*), cuyo objetivo declarado es *desarrollar tecnologías que permitan la automatización de vehículos en aplicaciones de transporte urbano e industriales, de cara a incrementar significativamente la eficiencia, seguridad y sostenibilidad*. En concreto, AUTOMOST permitirá la implementación de sistemas de control compartido (Dual-Mode) para futuros vehículos automatizados que permitan la operación de servicios de manera más eficiente y flexible, en un contexto de infraestructuras inteligentes y conectadas.

Automost es un proyecto del programa CIEN, convocatoria 2016, adjudicado a un Consorcio formado por Corporación Española de Transporte, S.L.U., AVANZA Spain S.A.U., IRIZAR S.Coop, DATIK Información Inteligente S.L., ETRALUX, S.A., Ingeniería INSITU, S.L., Novadays, S.L., Microelectrónica MASER, S.L., TECNALIA, Universidad Politécnica de Madrid (INSIA y TRANSyT), CEIT-IK4 y la Universidad de Vigo.

Dentro de las tareas asignadas al Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid (TRANSyT-UPM) en el marco del proyecto, se ha realizado un profundo análisis de la aceptabilidad y satisfacción de los potenciales usuarios de la futura línea de autobuses autónomos entre el puerto de Málaga y el centro urbano. En el presente artículo, se recogen los resultados obtenidos de las encuestas realizadas en el puerto a los usuarios de los autobuses que cubren el servicio de la actual línea. Con ayuda de las preguntas de caracterización y de variables latentes, ha sido posible realizar un modelo logístico multinomial con el objetivo de establecer las razones que motivan a un determinado participante a querer subirse o no a bordo de un autobús autónomo.

## 2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El vehículo autónomo se define como aquel que desplaza, pasajeros o mercancías, con determinado nivel de automatización, con el principal objetivo de asistir o sustituir el control humano (Stocker & Shaheen, 2017). Los fabricantes especializados en esta industria

estimaban que para 2020 ya habría vehículos en el mercado con un alto nivel de automatización (European Commission, 2017).

<b>AUTOMATIZACIÓN- ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el coste de personal dedicado a la conducción</li> <li>• Se reducen los riesgos de accidente más comunes en la conducción (falta de atención, distancias de seguridad o adelantamientos inseguros)</li> <li>• Optimización de los recursos, como el combustible, y una reducción en las emisiones de gases contaminantes por medio de una conducción mucho más eficiente.</li> <li>• “Devaluar” el coste del tiempo de viaje (no se pierde tiempo en conducir, aprovechando ese tiempo para otras cosas)</li> <li>• Mejorará la equidad (mayores y niños tendrán mayor accesibilidad), y se reduce la cautividad (menos limitante para personas sin carné de conducir)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de importantes inversiones: equipos y material móvil específicos, rediseño de la infraestructura, necesidad de hiperconexión y un mantenimiento especializado.</li> <li>• Introduce nuevos riesgos: puede ser menos seguro en situaciones especiales o no previstas en la programación (fallos del sistema, terrorismo, decisiones que requieran razonamiento humano)</li> <li>• La automatización puede reducir la oferta de empleo, y puede afectar las barreras tecnológicas.</li> <li>• Aspectos territoriales (si disminuye el coste del transporte, y puede hacer que la gente viva más lejos)</li> </ul>
<b>AUTOBUSES AUTÓNOMOS- ASPECTOS ESPECÍFICOS</b>	
<b>Aspectos positivos</b>	<b>Aspectos negativos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial para aumentar la fiabilidad y la puntualidad</li> <li>• Posible reducción de costes fijos por la disminución de personal de conducción</li> <li>• Necesidad de un aumento en la inversión, tanto en la infraestructura como en el material móvil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para controlar impagos</li> <li>• Dificultad en la gestión de incidencias (compra de billetes, requerimientos específicos de información, necesidades específicas de los pasajeros)</li> <li>• Posible disminución de la sensación de seguridad (al no existir una persona física que represente a la autoridad en el autobús).</li> <li>• Despersonalización de la imagen de la empresa.</li> </ul>

**Tabla 1: Aspectos importantes relativos a los vehículos autónomos. Fuente: López-Lambas & Alonso (2019).**

No obstante, pese a existir distintos proyectos de automatización en el transporte público rodado, se siguen identificando barreras importantes: la aceptación de los usuarios, las políticas junto la regulación vigente (para facilitar e incentivar el desarrollo y las pruebas en terreno), la adaptación de la infraestructura y el desarrollo de la tecnología (ERTRAC Working Group, 2019) (Canis, 2019) (Litman, 2017; Fagnant & Kockelman, 2015; Buehler et al., 2009). En la tabla 1 se muestra un resumen de los principales condicionantes

encontrados en los estudios sobre vehículos autónomos, destacando los relacionados con los autobuses, de los cuales, por cierto, existen pocos análisis científicos (Bösch et al., 2018).

En este artículo, se presentan los resultados de las encuestas que se llevaron a cabo en el marco del proyecto AUTOMOST para el servicio de autobuses que conectan el puerto de Málaga con el centro urbano. El objetivo es desarrollar un modelo que mida la aceptabilidad de los usuarios a la hora de introducir autobuses autónomos en la red de transporte público, así como identificar los perfiles de usuarios potenciales o reacios a los vehículos autónomos en general. La identificación de variables latentes ha sido fundamental para poder analizar la toma de decisiones en un área tan innovadora del transporte. Se ha considerado apropiada para el estudio, ya que ni el propio usuario es verdaderamente consciente de los factores que le pueden condicionar.

En el siguiente punto, se explica en mayor detalle la metodología de la encuesta presencial, al tiempo que se profundiza en el concepto de las variables latentes y los modelos factoriales realizados. En la sección cuatro, se detallará el proceso lógico llevado a cabo durante el análisis factorial, al igual que los pasos seguidos para la obtención del modelo. Finalmente, se mostrarán las principales conclusiones obtenidas y las futuras líneas de investigación que abre el presente artículo.

### **3. METODOLOGÍA**

Al objeto de comprender la aceptabilidad del vehículo y su conducción, se han desarrollado un gran número de estudios a través de encuestas online (Payre et al., 2014; Zmud et al., 2016), encuestas presenciales (Eden et al., 2017; Nickkar et al., 2021; Payre et al., 2014) y Focus Group o grupos de discusión (López-Lambas & Alonso 2019). Aunque, en líneas generales, la aceptación del vehículo autónomo es extensa y hay un amplio conocimiento en la materia por parte de la ciudadanía, no hay suficientes evidencias para trasladar estas afirmaciones al transporte público colectivo. En este caso, es ventajosa la realización de un modelo de identificación a través de variables latentes, dada la peculiaridad de los autobuses autónomos.

Las variables latentes son una serie de características del individuo que no pueden ser preguntadas directamente, ya que el propio participante no tendría la capacidad de responder al ser constructos psicológicos que no se pueden inferir de forma directa. En otras palabras, no se pueden observar directamente: solo pueden ser medidas a través de otras variables o indicadores directamente observables.

Para la construcción de este modelo, el primer paso consiste en el estudio de todos aquellos factores que puedan influir en el uso del autobús autónomo. Para ello, es necesario comprender el ámbito del estudio, al igual que una revisión de la literatura y los distintos enfoques en la materia. A partir de los Focus Group, o grupos de discusión, realizados en el

marco del proyecto AUTOMOST y tras el análisis del estado del arte en profundidad, se seleccionaron las siguientes variables:

- Tecnofilia: afición hacia la tecnología o dispositivos relacionados, generalmente con ordenadores, móviles, tabletas o el resto de los dispositivos informáticos y programables.
- Seguridad vial: prevención del riesgo de accidente en el tránsito de un vehículo.
- Valores medioambientales: conjunto de impactos sobre el medio ambiente y reducción de emisiones de gases contaminantes.
- Pertenencia a una comunidad: influencia o “presión social” sobre nuestras decisiones a partir de la opinión de amigos, conocidos, prensa o redes sociales.
- Seguridad física: miedo a sufrir agresiones, robos, atracos o caídas durante la conducción.

Una vez definidas las variables, el siguiente paso es el conocimiento de la estructura que subyace tras cada una de ellas. Esta puede ser ya conocida por el modelizador, o bien, debe ser descubierta. En ambos casos, es necesaria la utilización de técnicas de modelización con estructuras de covarianza, en particular el Análisis Factorial Exploratorio (AFE), el cual nos permite identificar esas posibles asociaciones entre los datos. La finalidad de los AFE es la determinación de las variables observables que pueden ayudar a evaluar y medir cada una de las variables latentes incluidas en el modelo. De este modo, se pueden obtener cuantas variables latentes estén relacionadas con las observables y que indicadores pueden asociarse a su valoración. A lo largo del proceso, se pueden suprimir del modelo aquellas variables observables que sean innecesarias en la estimación de las latentes, manteniendo aquellas que mejor ajuste proporcionen.

En nuestro caso de estudio, las variables observables son las respuestas de los participantes de la encuesta. Por este motivo, es necesario realizar varias preguntas para cada variable relacionadas con ella, a las que el encuestado puede responder de forma directa. En este tipo de estudios, las respuestas directas a las preguntas no son verdaderamente importantes al objeto de la investigación, sino las variables obtenidas a partir de dichas respuestas tras su análisis factorial. Por ejemplo, la variable latente Tecnofilia se obtuvo a través de la valoración de afirmaciones como “Me gusta probar nuevos dispositivos tecnológicos” o “Necesito herramientas tecnológicas en mi vida diaria”. Siguiendo las recomendaciones de la bibliografía y experiencias previas, se combinaron en el cuestionario la escala de Likert (Likert, 1932) y el diferencial semántico (Osgood, et al 1957). En estos casos, es contraproducente preguntar directamente al usuario su grado de tecnofobia, ya que no es verdaderamente consciente de su influencia en las decisiones que toma en su día a día, pudiendo exagerar sus respuestas y distorsionar la muestra.

Para poder confirmar las hipótesis del análisis previo, es conveniente la realización de un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) a continuación. De este modo, se obtiene un modelo óptimo y significativo donde podemos valorar realmente las variables latentes a partir de indicadores medidos en las encuestas y confirmar las relaciones propuestas en las estructuras de datos. Además, en estos modelos ya están introducidas las variables latentes, estudiando la influencia de unas sobre otras. Sin embargo, debido a la complejidad de este análisis y el alcance del presente estudio, se descartó su realización.

Una vez estudiadas las variables latentes, y gracias a la recopilación y caracterización de los participantes, se pudo desarrollar un modelo logit multinomial que definiera el grado de aceptabilidad de los usuarios a una línea de autobús autónomo. En el siguiente apartado, se resumen los datos recogidos en la encuesta, la identificación de las variables latentes, al igual que las principales conclusiones de las preguntas de preferencias declaradas.

#### **4. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS BÁSICOS DE LA ENCUESTA**

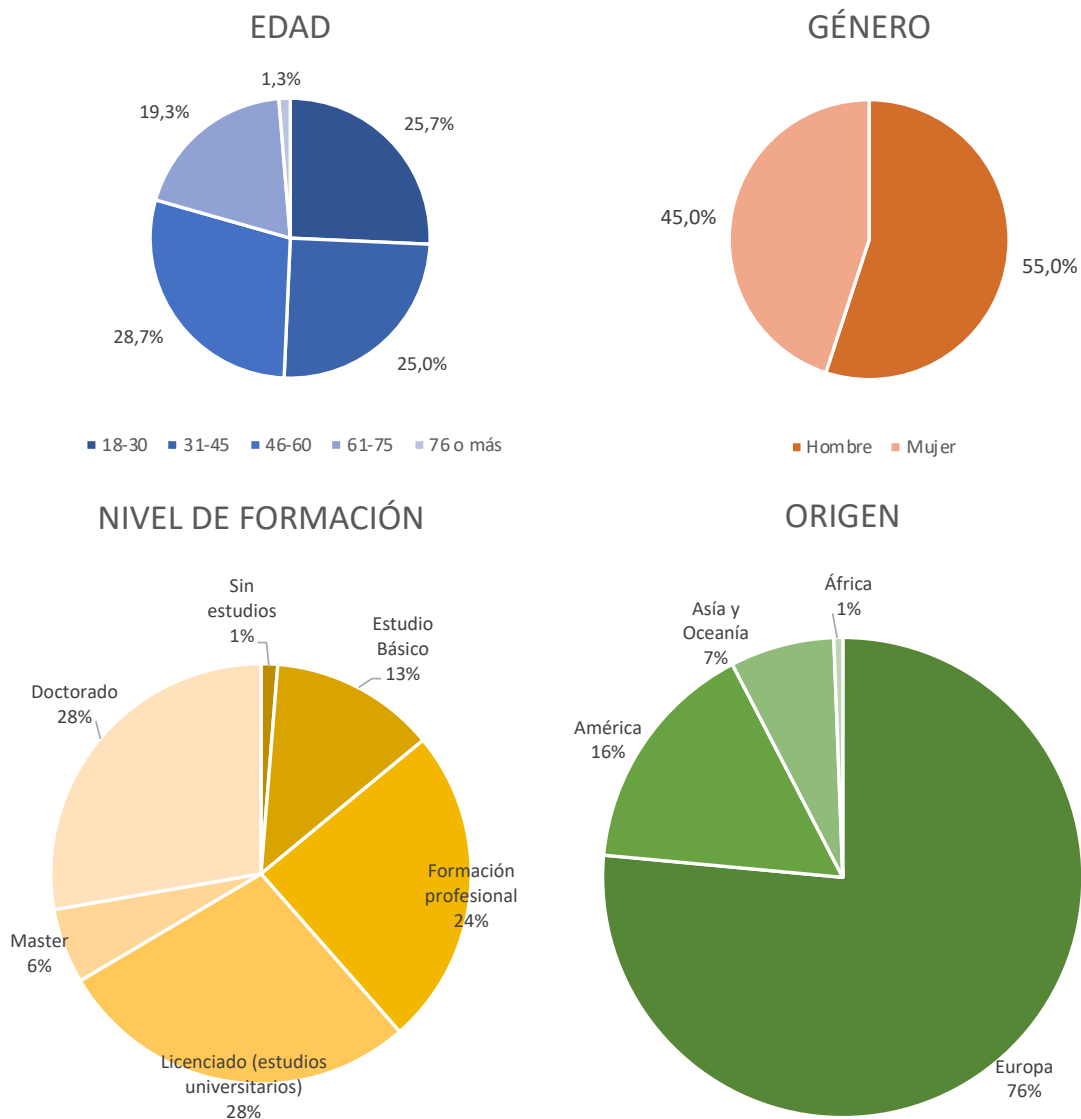
La encuesta se realizó en el puerto de Málaga durante el verano del 2019 de forma presencial, por lo que no se ha podido ver alterada por la crisis sanitaria sars-covid19 y sus restricciones sobre la movilidad. La muestra total es de 300 participantes. Teniendo en cuenta que durante ese mismo año hubo 16.051 cruceristas, se estima un margen de error muestral en torno al 5% (nivel de confianza del 95%) asumible para la realización del modelo.

La encuesta constaba de tres partes diferenciadas: por un lado, una caracterización del individuo, por otro, una serie de preguntas relacionadas con las variables latentes, y finalmente, preguntas sobre la conducción autónoma y las preferencias declaradas del encuestado a la hora de abordarse en un autobús autónomo. A pesar de la elevada tasa de participación que presentan las encuestas online y de su menor coste, se seleccionaron las encuestas presenciales para una mejor definición de los perfiles de los usuarios afectados por la modificación del servicio y una mejor recogida de su nivel de aceptación (Berrada et al., 2020).

La muestra que participó en la encuesta presenta como perfil mayoritario a un hombre europeo entre los 46-60 años con formación universitaria. Sin embargo, hay una proporción razonable tanto en la distribución de género como de edad. De este modo, se estableció como representativa la muestra recogida.

Cabe destacar que la mayoría de los encuestados son extranjeros y que el ámbito de estudio es muy particular. Los españoles no representan ni el 1% del total de la muestra y los usuarios de la línea, una vez inaugurada, serán cruceristas mayoritariamente, usuarios esporádicos del servicio de transporte público al llegar a Málaga.

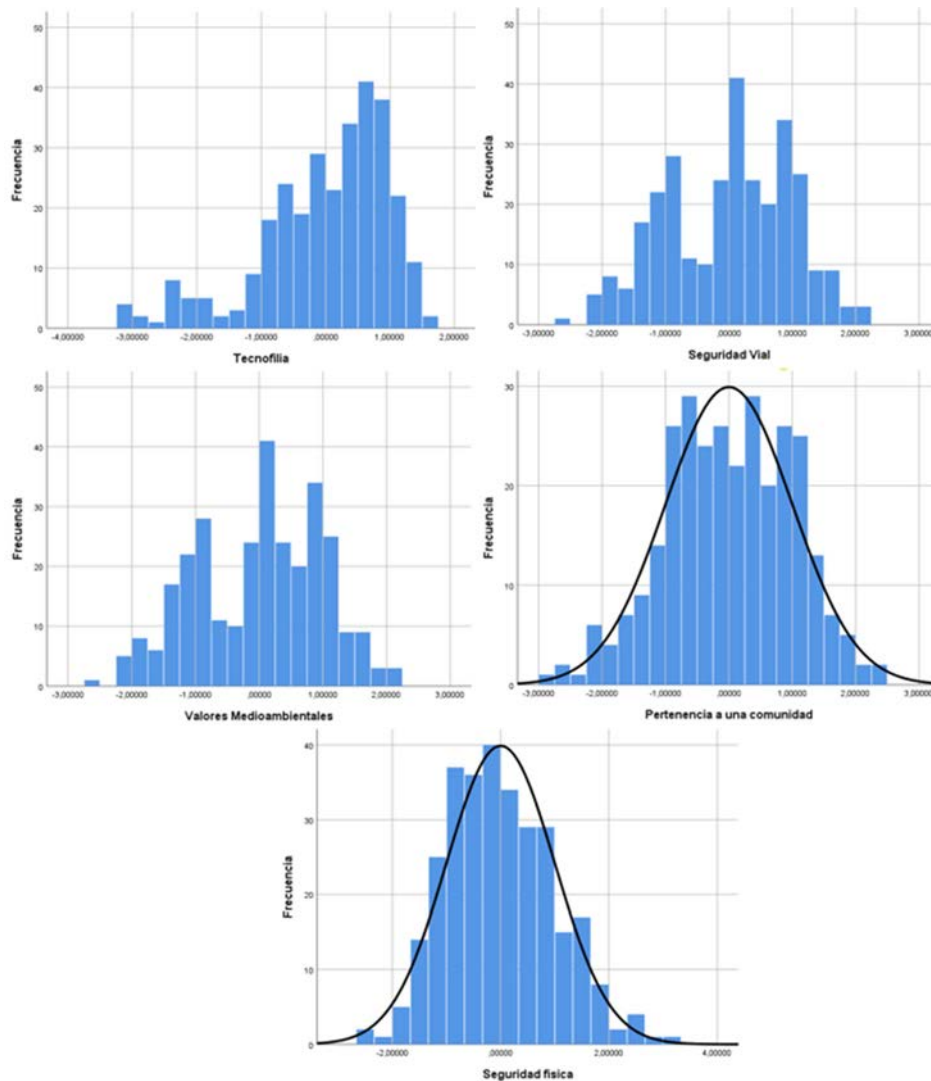
#### 4.1 Caracterización de la muestra



**Figura 1: Caracterización de los participantes de la encuesta.**

#### 4.2 Análisis factorial y caracterización de variables latentes

Como se ha mencionado anteriormente, las variables latentes no se pueden obtener de forma directa, sino a través de otras variables observables. Para alcanzarlas, se hace una transformación de los resultados de las preguntas básicas, obteniendo unos nuevos resultados con media 0 y desviación estándar 1. En la siguiente figura se muestran los histogramas asociados a cada una de las variables latentes estudiadas a través del software estadístico SPSS.



**Figura 2: Histogramas de las variables latentes**

- **Tecnofilia:** La mayor parte de las respuestas se concentran en torno al valor nulo. De manera general, la tendencia es hacia la indiferencia a la aparición de nuevas tecnologías. Sin embargo, hay valores extremos en la parte negativa, lo que indica que pueden existir perfiles de usuarios con alto rechazo hacia nuevas tecnologías, llegando a presentar tecnofobia.
- **Seguridad vial:** La distribución de las respuestas es mucho más repartida, sin casos significativamente extremos. Se identifican niveles similares entre las personas que tienen miedo a sufrir un accidente como aquellas a las que no les influye.
- **Valores medioambientales:** Los valores para este supuesto son también bastante neutrales. Sin embargo, existe cierta tendencia más visible hacia la no necesidad de tener en cuenta el cuidado del medio ambiente. En otras palabras, una parte de los encuestados no tienen interés en realizar acciones para mejorar el medioambiente en las ciudades y luchar contra el cambio climático.
- **Pertenencia a una comunidad:** A diferencia de las variables anteriores, se aprecia una tendencia a seguir la función normal. Sin embargo, hay valores y frecuencias más



altas en las cercanías del valor central que en el propio valor central. Esto indica una pequeña polarización en los dos posibles sentidos. No se le otorga una importancia suficientemente alta como para que se produzca un cambio significativo de la función normal.

- Seguridad física: También se aprecia una tendencia a seguir una distribución normal, aunque ligeramente descentrada hacia el lado negativo.

A la hora de planificar una estrategia de acción sobre la base de los resultados de la encuesta, es imprescindible comprender a que público objetivo hay que dirigirse, siendo necesario el estudio de las variables latentes a partir de los datos recopilados en la encuesta y la identificación muestral. Para realizar esta caracterización, se ha calculado una regresión lineal entre las variables latentes y los resultados con la primera parte de la encuesta. A continuación, se muestran y explican los principales resultados del análisis.

	Coef. no estandarizados	Desv.	Coef. estandarizados	t	Sig.
	B	Error	Beta		
<b>Tecnofilia</b>					
(Constante)	0,305	0,17		1,793	0,074
Edad	-0,561	0,038	-0,623	-14,683	0
Nivel de formación	0,313	0,041	0,322	7,596	0
<b>Seguridad Vial</b>					
(Constante)	-0,441	0,191		-2,313	0,021
Edad	-0,287	0,045	-0,318	-6,385	0
Género	0,79	0,1	0,394	7,899	0
<b>Valores medioambientales</b>					
(Constante)	0,025	0,228		0,111	0,912
Edad	-0,172	0,051	-0,191	-3,367	0,001
Nivel de formación	0,116	0,055	0,119	2,104	0,036
<b>Pertenencia a una Comunidad</b>					
(Constante)	-0,748	0,228		-3,276	0,001
Edad	0,143	0,051	0,159	2,791	0,006
Nivel de formación	0,115	0,055	0,119	2,092	0,037
<b>Seguridad Física</b>					
(Constante)	0,223	0,255		0,875	0,382
Edad	0,146	0,082	0,105	1,78	0,076
Tipo de ciudad de residencia	-0,124	0,057	-0,128	-2,183	0,03

**Tabla 2: Resultados de las regresiones lineales para la caracterización de las variables latentes.**

- **Tecnofilia:** Esta variable viene determinada por la edad, principalmente, y por el nivel de formación, como se puede apreciar en la anterior tabla. Conforme aumenta la edad del individuo, mayor aversión hacía las nuevas tecnologías. Por el contrario, a mayor nivel educativo, mayor predisposición a las nuevas tecnologías.
- **Seguridad vial:** En este caso, la variable viene determinada por la edad (A medida que aumenta hay una menor preocupación por la seguridad vial) y el género, siendo está última la más influyente.
- **La peculiaridad de la variable género** es que no se trata de una variable ordenada, por lo que los resultados varían en función del orden en el que se han introducido las respuestas. En el presente estudio, se introdujeron primero las respuestas de género masculino (al ser mayoritarias) y después las de género femenino. Una tendencia positiva, como es el resultado obtenido, indica que el último grupo de variables tiene una mayor influencia sobre la variable latente. En otras palabras, las mujeres presentan mayor preocupación por la seguridad vial.
- **Valores medioambientales:** Las variables edad y nivel de formación son las de mayor influencia, aunque sus valores B son pequeños. En lo que respecta a las tendencias, mientras conforme aumenta la edad la preocupación por el Medio Ambiente disminuye, en el caso del nivel de formación se aprecia una mayor preocupación medioambiental conforme aumenta el nivel de estudios.
- **Pertenencia a una comunidad:** En este caso, vuelven a aparecer la edad y el nivel de formación como las variables que caracterizan a las variables latentes. Sin embargo, ambas muestran tendencias positivas: a mayor edad y nivel de formación, mayor sentimiento de pertenencia a una comunidad.
- **Seguridad física:** En el caso de la seguridad física, además de la edad, entra en juego la variable ciudad de residencia. Los resultados muestran que, cuanto mayor sea el tamaño de la ciudad y más la edad del individuo, existe una mayor preocupación por la integridad física individual.

#### **4.3 Conocimiento sobre la conducción autónoma y preferencias declaradas**

Una vez se ha caracterizado la muestra de la encuesta, e identificado y estudiado las variables latentes, hay que entender el nivel de conocimiento sobre el vehículo y autobús autónomo de los participantes, al igual que su comportamiento en situaciones hipotéticas relacionadas con su conducción autónoma.

En primer lugar, se preguntó a los participantes sobre su conocimiento y experiencia en vehículos autónomos, así como sus preferencias declaradas sobre su uso. En líneas generales, el conocimiento sobre esta tecnología es bastante alto, si bien apenas ha sido experimentada.

Respecto a la preferencia declarada, apenas un 9% de los participantes afirmó que bajo ningún concepto se subirían a un vehículo autónomo. Por otro lado, hay un porcentaje nada desdeñable (un 28,3%) que precisaría de más información o conocimiento de determinadas características para decidirse.

	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Quizás</b>
<b>¿Ha oído hablar del vehículo autónomo?</b>	90,3%	9,7%	n/a
<b>¿Ha montado alguna vez en un vehículo autónomo?</b>	5,3%	91,3%	n/a
<b>¿Se montaría en un vehículo autónomo?</b>	62,7%	9,0%	28,3%

**Tabla 3: Resultados sobre las preguntas sobre el conocimiento del vehículo autónomo.**

Una vez caracterizado el conocimiento sobre conducción autónoma, se contextualizó en el caso particular del autobús autónomo. Por un lado, se preguntó sobre las preferencias declaradas respecto a la conducción autónoma del autobús, así como la influencia que tendría mantener un componente humano, en el caso de las personas que presentaran dudas.

	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Quizás</b>
<b>Si este autobús no llevara conductor, ¿se habría montado?</b>	62,30%	9,30%	28,30%
<b>Si el autobús sin conductor llevara a bordo una persona para ayudar a los pasajeros, ¿se montaría?</b>	82,40%	17,60%	n/a
<b>Si esta persona pudiera tomar el control del autobús en caso de que fuera necesario, ¿se montaría?</b>	100,00%	0,00%	n/a

**Tabla 4: Resultados sobre las preguntas de preferencias declaradas sobre el autobús autónoma.**

Los resultados sobre las preferencias declaradas relacionadas con la conducción autónoma son muy similares con los obtenidos para el caso del autobús. Además, el porcentaje de personas que se subirían al autobús va incrementándose a medida que se aumenta el factor humano en su conducción autónoma. Más del 80% de las personas que presentaban dudas a abordar en un autobús autónomo, lo harían si existiera la figura de un ayudante para los pasajeros. Todos afirman que se subirían al autobús con la figura de un conductor que tomara el control del vehículo en caso de que fuera necesario.

Después se preguntó por la importancia que dan los participantes a la figura del conductor en una serie de tareas. De este modo, se puede comprender el papel que representa el conductor del autobús para los usuarios y su posible futuro desempeño en la conducción autónoma.

Los resultados muestran que la principal función está relacionada con la seguridad operacional. En otras palabras, los usuarios valoran muy positivamente sus labores durante la conducción. Sin embargo, la figura del conductor no proporciona mayor seguridad frente

agresiones (físicas o verbales), intimidaciones, robos o hurtos. Además, cabe destacar que la experiencia como usuario se valora muy negativamente por los participantes de la encuesta.

	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación</b>
<b>Seguridad (física: temor a una agresión, intimidación, hurto/robo),</b>	2,93	3	3	1,261
<b>Seguridad (operacional: fallos del vehículo que comportan accidentes)</b>	4,24	5	5	1,036
<b>Experiencia como usuario (Subir a bordo, bajar, compra del billete, información a bordo o antes de subir sobre rutas, paradas, tiempo de viaje y espera del próximo bus, etc.)</b>	2,12	1	1	1,364

**Tabla 5: Resultados sobre el vehículo autónomo.**

## 5. MODELO DE DECISIÓN

Una vez analizados los resultados directos de la encuesta y las variables latentes, se genera un modelo logit multinomial para estimar la aceptabilidad del autobús autónomo. Se ha elegido este modelo porque la variable dependiente que se quiere analizar es categórica, y tiene más de dos opciones de respuesta: Sí, No o Quizás. Con este modelo se identificarán las variables socioeconómicas y latentes que sean más influyentes en la toma de decisiones de los usuarios potenciales de un servicio de transporte público con autobuses autónomos.

En un primer momento, se consideraron todas las variables, tanto de caracterización como las variables latentes obtenidas, así como las posibles interacciones que existieran entre ambas. Sin embargo, para que un modelo sea útil, ha de ser capaz de pronosticar correctamente el mayor número de casos con el menor número de variables. Con esta idea, se han eliminado aquellas que no eran estadísticamente significativas o que no aportasen valor significativo. En otras palabras, con coeficientes de significación superiores al 0,05.

Siguiendo estas recomendaciones, dos variables latentes finalmente no se emplearon en el modelo – Seguridad física y Pertenencia a una comunidad- al tener valores de significancia muy elevados (0,269 y 0,139, respectivamente), así como bajos valores de chi-cuadrado (2,6 y 3,9 frente a 270,77, 12,24 y 27,76 del resto de variables latentes). Por tanto, se han utilizado en un primer momento Tecnofilia, Protección del Medio Ambiente y Seguridad Física, con las variables de caracterización del usuario.

En un modelo multinomial se compara una opción definida como base con todas las demás opciones posibles. En este caso, se ha definido como base la opción positiva (“Sí”). La estimación obtenida del modelo es la siguiente:

		B	Desv. Error	Wald	Sig.	OR (Exp(B))	OR para cambio de unidad	95% intervalo de confianza para $\frac{1}{2}$ Exp(B)	de $\frac{1}{2}$ Exp(B)
								Límite inferior	Límite superior
NO	(Intersección)	-6,544	1,137	33,131	0,000				
	Tecnofilia	-6,714	0,827	65,925	0,000	0,001	0,03	0,000	0,006
	Protección Medioambiental	-0,975	0,402	5,892	0,015	0,377	0,61	0,172	0,829
	Seguridad física	1,068	0,407	6,900	0,009	2,911	1,71	1,312	6,460
QUIZÁS	(Intersección)	-0,532	0,182	8,557	0,003		0,77		
	Tecnofilia	-2,949	0,364	65,609	0,000	0,052	0,23	0,026	0,107
	Protección Medioambiental	-0,617	0,192	10,334	0,001	0,540	0,73	0,370	0,786
	Seguridad física	1,012	0,213	22,572	0,000	2,750	1,66	1,812	4,174

**Tabla 6: Resultados del modelo multinomial logit aplicado con tres variables latentes: tecnofilia, protección al medio ambiente y seguridad física.**

Durante el análisis de la importancia de cada término en el modelo, hay que fijarse en el Exponente B. (Odds Ratio) Este indicador nos proporciona el incremento de las posibilidades de éxito de una de las opciones de resultado respecto a la otra cuando se incrementa una unidad en el término estudiado. Debido a que el rango de las variables latentes es pequeño, se ha calculado también para un incremento de media unidad, de manera que se hace más comprensible el significado e influencia de este valor.

Como se puede apreciar en la anterior tabla, existe una variable que destaca sobre el resto de las empleadas: la tecnofilia. La tecnofilia es especialmente influyente en la comparación entre Sí vs No, si bien también destaca en la comparación entre Sí vs Quizás, aunque en menor medida. Para comprender la importancia de esta variable, valga el siguiente análisis para su visualización: es 33 veces más probable (1/0,03) que una persona con una puntuación de 2 esté dispuesta a subirse a un autobús de conducción autónoma que una persona de 1,5, comparando Si vs No. En el caso de Sí vs Quizás, este valor se reduce a 4,4 veces. El resto de las variables presentan valores muy similares y mucho más bajos, todos ellos entre 1 y 2. En otras palabras, mientras que los valores de protección medioambiental y seguridad física, e incluso el de Tecnofilia para Sí vs Quizás, se encuentran en los rangos de lo que se suele obtener en modelos logarítmicos, el resultado de Tecnofilia en Sí vs No es muy superior al habitual.

Esto indica que, si bien existen más factores, el tratamiento de la aceptación de las nuevas tecnologías ha de ser un elemento clave en la implementación del autobús autónomo. De este modo, para lograr el éxito de este modelo de conducción en el transporte público sin

afectar gravemente a la demanda, se ha de conseguir que el mayor número de usuarios, independientemente de sus habilidades con las tecnologías y los dispositivos, no solo puedan utilizar el servicio, sino que se sientan cómodas haciéndolo.

Finalmente, se ha analizado qué valores son más influyentes en los indecisos (que hayan contestado quizás) a la hora de subirse un autobús autónomo si hubiese un asistente a bordo. En este caso, se ha optado por una regresión logarítmica binomial. Las variables estadísticamente significativas son Seguridad Vial y Física.

	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B)	
						Inferior	Superior
Seguridad Vial	0,702	0,346	4,114	0,043	2,018	1,024	3,977
Seguridad Física	0,744	0,305	5,975	0,015	2,105	1,159	3,824
(Constante)	-2,084	0,427	23,801	0,000	0,124		

**Tabla 7: Resultados del modelo binomial logit aplicado con las variables latentes de Seguridad Vial y Seguridad Física.**

## 6. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

El presente estudio abre nuevas líneas de investigación sobre la conducción autónoma en el transporte público rodado. Aunque, en líneas generales, se muestra un gran conocimiento sobre el vehículo autónomo y aceptación de este modelo de conducción cuando se trata de un autobús, los resultados no son completamente extrapolables al servicio completo de la red de transporte público.

Los participantes de la encuesta, en su totalidad, eran cruceristas y extranjeros. En otras palabras, usuarios esporádicos de una red de transporte público desconocida y con alto porcentaje de cautividad. Además, gran parte del itinerario que realizaría el autobús sería dentro del puerto, una situación de tráfico acotada y limitada con influencia mínima de las externalidades típicas de la conducción del día a día en una gran ciudad.

Con el objeto de validar el actual modelo desarrollado, por medio de la diversificación y ampliación de la muestra, es recomendable extender este análisis a usuarios fidelizados en el transporte público de la ciudad. De este modo, se podría comprender la aceptabilidad de este modelo de conducción en ámbitos mucho más urbanos. Al mismo tiempo, sería interesante estudiar su influencia sobre la elección modal, su capacidad de atracción de usuarios del vehículo privado al transporte público.

## 7. CONCLUSIONES

En muchos casos, se puede explicar la toma de decisiones de un individuo en función de sus características socioeconómicas, relativamente fáciles de obtener. Sin embargo, cuando se trata de decisiones en las que no se necesita meditar mucho, o que incluso no se es verdaderamente consciente de las motivaciones, esta caracterización se torna más compleja.

En el presente artículo se demuestra la necesidad de considerar las variables latentes en el estudio de la aceptabilidad del autobús autónomo, ya que su estudio ha sido fundamental para el desarrollo del modelo. Mediante una serie de sencillas preguntas, ha sido posible caracterizar a los participantes en aspectos no accesibles de manera directa. Aunque lo ideal es obtener un modelo con las variables básicas de caracterización, no se han conseguido resultados adecuados hasta introducir las variables latentes validadas: Tecnofilia, Protección del Medio Ambiente y Seguridad Física. Con ello, se ha logrado un modelo válido y fiable, con el que se pueden explicar las razones que motivan la decisión de abordar un autobús autónomo.

Al mismo tiempo, con este análisis se ha podido demostrar cómo el vehículo autónomo en general, y el autobús autónomo en particular, tiene un nivel de aceptación bastante alto, si bien existen aún potenciales usuarios que muestran dudas a la hora de abordar un vehículo de estas características. A medida que se incrementa el factor humano, se reduce el número de usuarios indecisos hasta desaparecer. Esta situación es muy similar a la conducción autónoma: a medida que aumenta su nivel de autonomía, aumenta el estrés y su rechazo (Hewit, et al., 2019, Rödel et al., 2014). De este modo, se aprecia una estrecha relación entre la conducción autónoma, tanto en transporte individual como en el transporte colectivo.

Finalmente, el factor más influyente en la toma de decisiones a la hora de abordar un autobús de conducción autónoma es la tecnofilia. Esta variable está determinada por la edad y el nivel de formación, por lo que el perfil de persona en el que más hay que centrarse es el de personas de avanzada edad con bajo nivel de estudios.

## AGRADECIMIENTOS

De parte de los autores, nos gustaría aprovechar para agradecer la oportunidad de participar en el ambicioso proyecto de AUTOMOST - GUIADO AUTOMATIZADO PARA SISTEMA DE TRANSPORTE DUAL, y haber podido colaborar con el Grupo Avanza en el objetivo de alcanzar un transporte público urbano más competitivo y sostenible.

Al mismo tiempo, nos gustaría agradecer el papel del Congreso de Ingenieros de Transporte en la divulgación y la colaboración científica entre universidades y empresas, permitiéndonos presentar las principales conclusiones de este modelo de aceptabilidad de la conducción autónoma en el transporte público.

## REFERENCIAS

- BÖSCH, P.M., BECKER, F., BECKER, H., & AXHAUSEN, K.W. (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy* 64, pp.76–91.
- BERRADA, J., MOUHOUBI, I., & CHRISTOFOROU, Z. (2020). Factors of successful implementation and diffusion of services based on autonomous vehicles: Users' acceptance and operators' profitability. *Research in Transportation Economics*, 83, 100902.
- BUEHLER, M., IAGNEMMA, K., & SINGH, S. (2009). *The DARPA Urban Challenge: autonomous vehicles in city traffic*. Springer. Berlin.
- CANIS, B. (2019). *Issues in Autonomous Vehicle Testing and Deployment* (No. R45985). Congressional Research Service.
- EDEN, G., NANCHEN, B., RAMSEYER, R., & EVÉQUOZ, F. (2017). Expectation and experience: Passenger acceptance of autonomous public transportation vehicles. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 360-363). Springer, Cham.
- ERTRAC Working Group (2019). *Connected automated driving roadmap*. ERTRAC, Brussels.
- EUROPEAN COMMISSION, (2017). *Autonomous cars: a big opportunity for European industry*. Digital Transformation Monitor. European Commission.
- FAGNANT, D.J. & KOCKELMAN, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, pp.167–181.
- HEWITT, C., POLITIS, I., AMANATIDIS, T., & SARKAR, A. (2019). Assessing public perception of self-driving cars: The autonomous vehicle acceptance model. In *Proceedings of the 24th international conference on intelligent user interfaces* (pp. 518-527).
- LIKERT, R.A. (1932) A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology* 22 (140), pp. 1-55.
- LITMAN, T. (2017). *Autonomous vehicle implementation predictions*. Victoria Transport Policy Institute.
- LÓPEZ-LAMBAS, M. E., & ALONSO, A. (2019). The driverless bus: An analysis of public perceptions and acceptability. *Sustainability*, 11(18), 4986.
- NICKKAR, A., LEE, Y. J., & DADVAR, S. (2021). Impact of Automated Vehicles on Optimal Demand-Responsive Feeder Transit Network Design. *International Journal of Urban Planning and Smart Cities (IJUPSC)*, 2(1), 84-100.
- OSGOOD, C.E.; SUCI, G.I. & TANNENBAUM, P.H. (1957). *The measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois Press.



---

PAYRE, W., CESTAC, J., & DELHOMME, P. (2014). Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 252-263.

RÖDEL, C., STADLER, S., MESCHTSCHERJAKOV, A. & TSCHELIGI, M. (2014). Towards Autonomous Cars. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. New York, USA: ACM Press

STOCKER, A., & SHAHEEN, S. (2017). Shared automated vehicles: Review of business models. *International Transport Forum Discussion Paper*.

ZMUD, J., SENER, I. N., & WAGNER, J. (2016). Self-Driving Vehicles: Determinants of Adoption and Conditions of Usage. *Transportation Research Record*, 2565(1), 57–64.