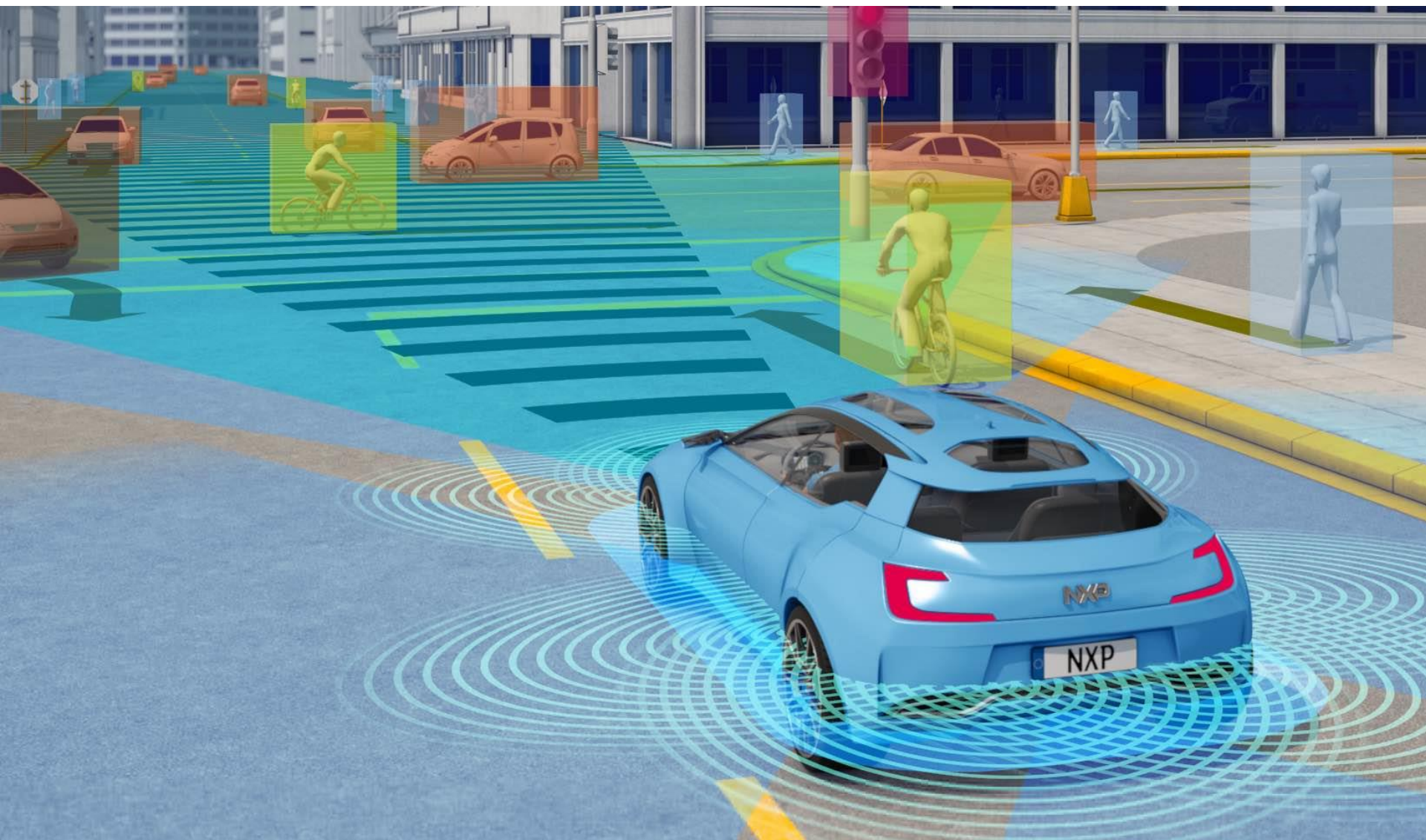




CI5313 Transporte Sustentable y Tecnologías Disruptivas

Clases 24-26: vehículos automatizados

25/11 – 02/12 2021



Vehículos automatizados



Could This be the Future of Self-Driving Cars?

The self-driving car as an extension of living or working space



Interstate EXT in Jet Black



Jerome Lutin

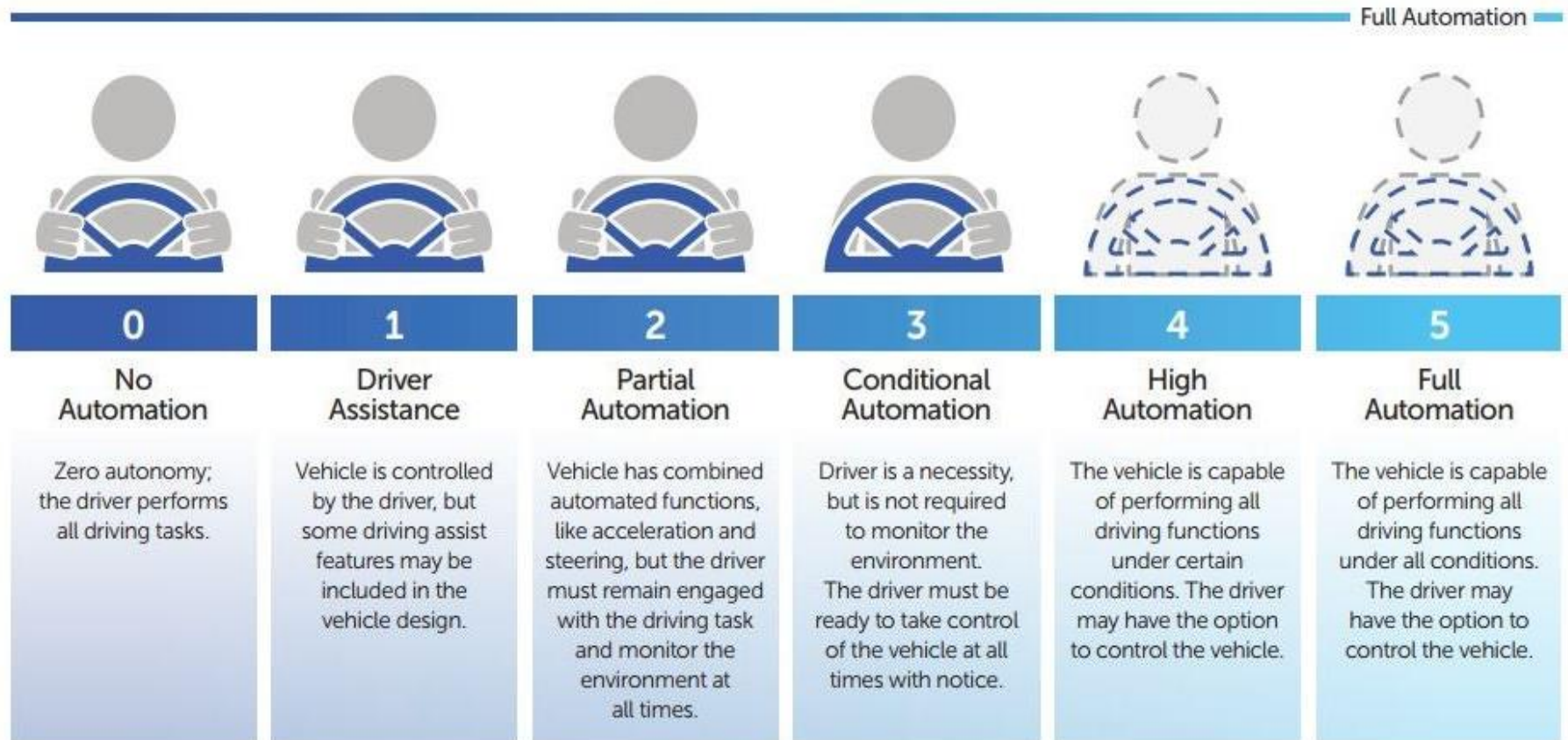
¿autónomo o automatizado?

(autonomous or automated?)

- **Autónomo:** se gobierna solo.
- **Automatizado:** controlado por otra máquina (o máquinas).

Vehículos automatizados

SAE AUTOMATION LEVELS

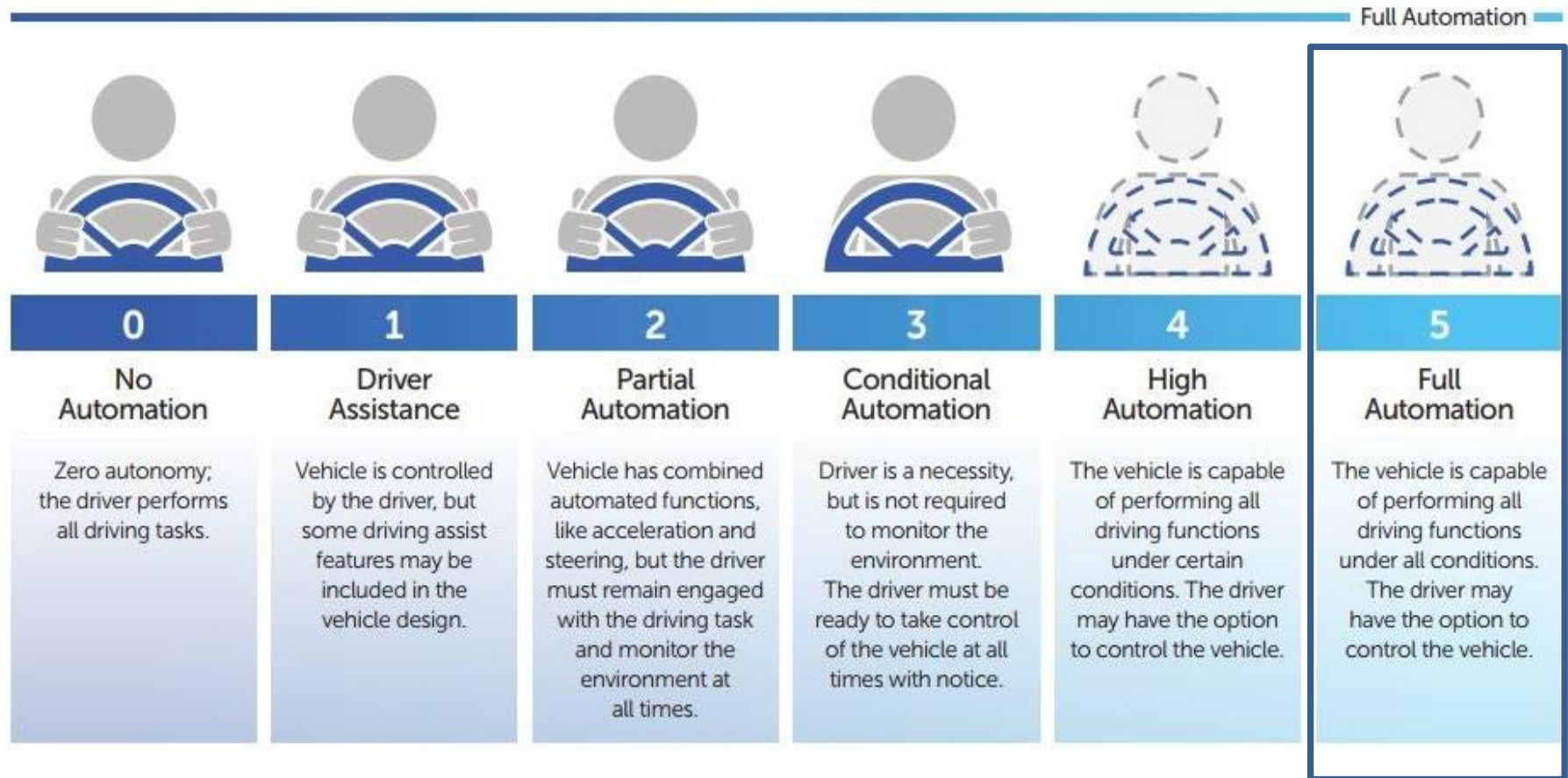


Society for Automotive Engineers (SAE), International standard J3016

<https://cleantechnica.com/2017/12/02/autonomous-driving-levels-0-5-implications/>

Vehículos automatizados

SAE AUTOMATION LEVELS



Society for Automotive Engineers (SAE), International standard J3016

<https://cleantechnica.com/2017/12/02/autonomous-driving-levels-0-5-implications/>

El futuro – vehículos automatizados

Investigación actual muestra que efecto de veh automatizados en vehículos-km y consumo de energía es DEPENDE

Reducción consumo

- Platooning
- Eco-driving
- Car-sharing
- Ride-sharing
- ¿Número de automóviles?
¿pasar de propiedad a suscripción MaaS?
- Reducción de espacio vial y estacionamiento
- ¿Requerimientos número mínimo estacionamientos?

Aumento consumo

- Nuevos viajes
- Viajes más largos
- Kilómetros en vacío
- Efectos de largo plazo en el uso de suelo, elección de vivienda y trabajo

- Sterling, D. (2018). Three revolutions: steering automated, shared and electric vehicles to a better future. Island Press.
- Wadud, Z., D. MacKenzie and P. Leiby (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. Transportation Research Part A 86: 1-18.

Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles



Zia Wadud^{a,*}, Don MacKenzie^{b,1}, Paul Leiby^{c,2}

^a Centre for Integrated Energy Research, Institute for Transport Studies and School of Chemical and Process Engineering, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK

^b Department of Civil & Environmental Engineering, University of Washington, P.O. Box 352700, Seattle, WA 98195-2700, United States

^c Oak Ridge National Laboratory, P.O. Box 2008, MS 6036, Oak Ridge, TN 37831, United States

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 February 2015

Received in revised form 17 August 2015

Accepted 8 December 2015

Available online 26 February 2016

Keywords:

Vehicle automation

Energy demand

Travel demand

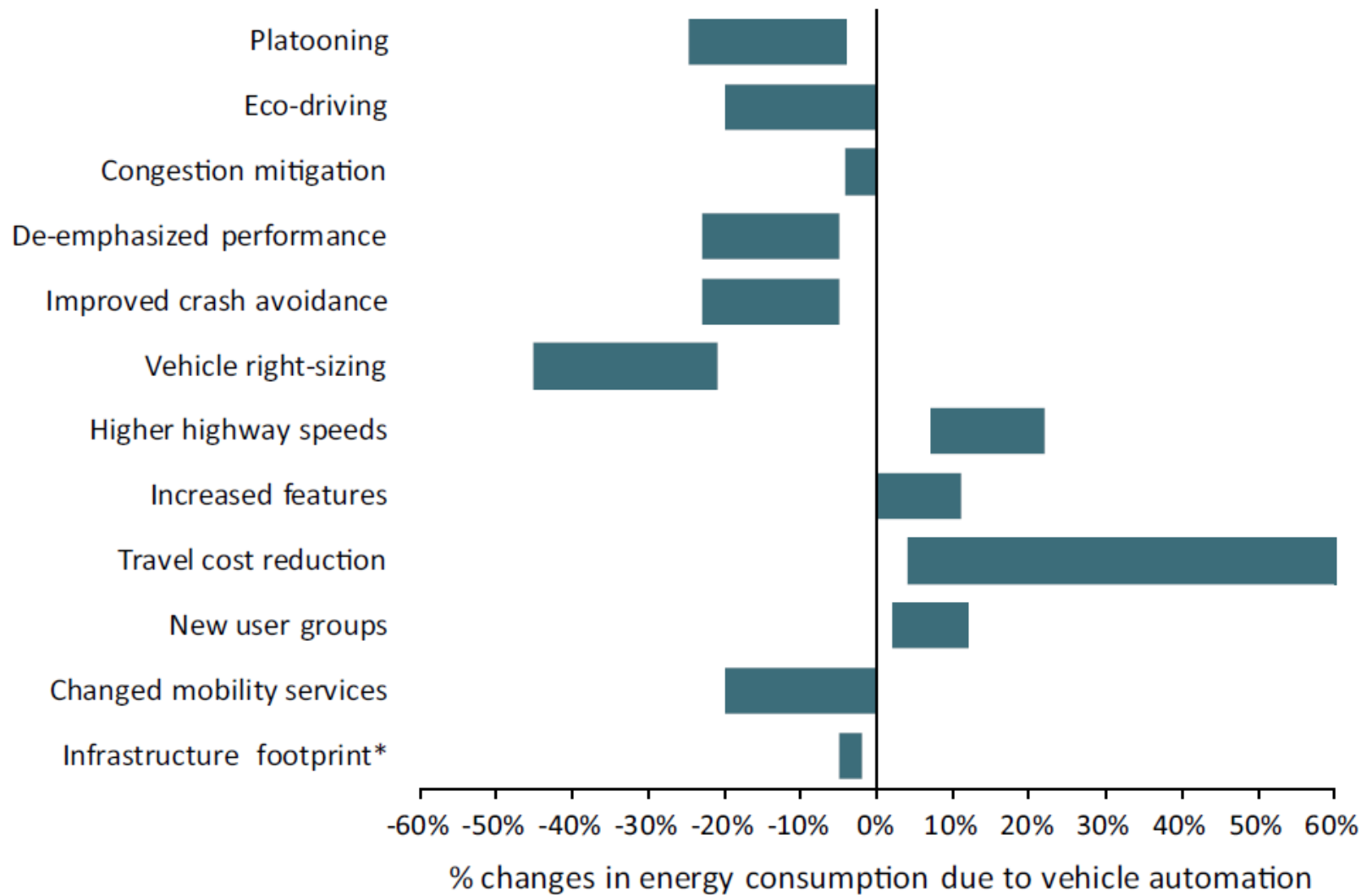
Carbon emission

Self-driving vehicle

Autonomous cars

ABSTRACT

Experts predict that new automobiles will be capable of driving themselves under limited conditions within 5–10 years, and under most conditions within 10–20 years. Automation may affect road vehicle energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in a host of ways, positive and negative, by causing changes in travel demand, vehicle design, vehicle operating profiles, and choices of fuels. In this paper, we identify specific mechanisms through which automation may affect travel and energy demand and resulting GHG emissions and bring them together using a coherent energy decomposition framework. We review the literature for estimates of the energy impacts of each mechanism and, where the literature is lacking, develop our own estimates using engineering and economic analysis. We consider how widely applicable each mechanism is, and quantify the potential impact of each mechanism on a common basis: the percentage change it is expected to cause in total GHG emissions from light-duty or heavy-duty vehicles in the U.S. Our primary focus is travel related energy consumption and emissions, since potential lifecycle impacts are generally smaller in magnitude. We explore the net effects of automation on emissions through several illustrative scenarios, finding that automation might plausibly reduce road transport GHG emissions and energy use by nearly half – or nearly double them – depending on which effects come to dominate. We also find that many potential energy-reduction benefits may be realized through partial automation, while the major energy/emission downside risks appear more likely at full automation. We close by presenting some implications for policymakers and identifying priority areas for further research.



El futuro – vehículos automatizados

- Efectos en costo
 - Bösch et al. (2018) estiman que vehículos automatizados pueden reducir el costo de viajar en taxi en un 85% en Zürich, Suiza.
 - Uber, Lyft y Didi Chuxing ya tienen alianzas con fabricantes de automóviles para la provisión de ride-hailing con vehículos autónomos
 - Efectos en transporte público? → Tirachini y Antoniou (2020)
- Efecto en uso del tiempo.

Bösch, P. M., F. Becker, H. Becker and K. W. Axhausen (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy* 64: 76-91.

Selbstfahrender Bus «SmartShuttle» auf öffentlichen Strassen in Sitten unterwegs



https://www.youtube.com/watch?time_continue=8&v=cUdPJicuS5k



Transporte público automatizado: estado del arte

Ugly But Useful: Stockholm Introduces Driverless Buses



Heather Farmbrough Contributor

TWEET THIS



So driverless buses and cars in Sweden seem a no-brainer. Think how many more hours you could spend on your startup as you cruise your autonomous vehicle down the long and empty motorway through the forests.



Chinese 5G self-driving bus offers glimpse of commutes to come

Manufacturer Yutong uses island in Zhengzhou as proving ground

WANG YIJIN, 36Kr
JUNE 12, 2019 12:28 JST



Premiere Autonomous bus in Bavarian spa Bad Birnbach Oct 25th, 2017
The autonomous bus knows its way through software



Bad Birnbach, Alemania



Chile: enero-marzo 2020

Buses standard (12 metros) automatizados

■ Press release

NTU SINGAPORE AND VOLVO UNVEIL WORLD'S FIRST FULL SIZE, AUTONOMOUS ELECTRIC BUS

3/5/19

Press information

First of two Volvo Electric buses will soon begin trials at the NTU Smart Campus before being extended to public roads.



The bus is equipped with four Lidar sensors which enables it to detect and stop for objects coming in its way.



Nobina and Scania pioneer full length autonomous buses in Sweden

20 FEBRUARY 2019

News | Press releases | Autonomous Transport Systems | Electrification

- Primeras pruebas 2017-2019 en Suecia y Singapur
- Pilotos anunciados para 2020

<https://www.youtube.com/watch?v=68DFFz-flnE>

¿Qué capacidades tienen los vehículos automatizados que son relevantes para transporte público?

1. **Sensorización:** evitar colisiones y atropellos.
2. **Bus precision docking:** separación pequeña y constante entre vehículo y plataforma en paradas.
3. **Control de velocidad:** regularidad de tiempos de viaje y de intervalos entre vehículos.
 - Comunicación entre vehículos (V2V) y con la infraestructura, e.g. semáforos (V2I)
4. **Ecodriving:** ahorro 5%-10% costo energía.

- Lazarus, J., Shaheen, S., Young, S.E., Fagnant, D., Voegelé, T., Baumgardner, W., Fishelson, J., Lott, J.S., 2018. Shared Automated Mobility and Public Transport. Road Vehicle Automation, vol. 4. Springer, pp. 141–161.
- Lutin, J.M., 2018. Not if, but when: autonomous driving and the future of transit. J. Public Transp. 21 (1), 92–103.
- Tirachini, A., Antoniou, C. (2020). The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy. Economics of Transportation, 21, 100151.



¿Mejorará calidad de servicio para el usuario?

1. **Sensorización: evitar colisiones y atropellos.**
2. Bus precision docking: separación pequeña y constante entre vehículo y plataforma en paradas.
3. Control de velocidad: regularidad de tiempos de viaje y de intervalos entre vehículos.
4. Ecodriving: ahorro 5%-10% costo energía.



Beneficios para usuarios:

- **Seguridad**

- Laz ihared
- Aut
- Lut ?–103.
- Tirachini, A., Antoniou, C. (2020). The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy. *Economics of Transportation*, 21, 100151. 20

1. **Sensorización:** evitar colisiones y atropellos.
2. **Bus precision docking:** separación pequeña y constante entre vehículo y plataforma en paradas.
3. Control de velocidad: regularidad de tiempos de viaje y de intervalos entre vehículos.
4. Ecodriving: ahorro 5%-10% costo energía.



Beneficios para usuarios:

- Seguridad
- Comodidad

1. **Sensorización:** evitar colisiones y atropellos.
2. **Bus precision docking:** separación pequeña y constante entre vehículo y plataforma en paradas.
3. **Control de velocidad:** regularidad de tiempos de viaje y de intervalos entre vehículos.
4. **Ecodriving:** ahorro 5%-10% costo energía.



Beneficios para usuarios:

- Seguridad
- Comodidad
- Predictibilidad tiempos de viaje
- Reducción tiempos de espera por mayor regularidad intervalos

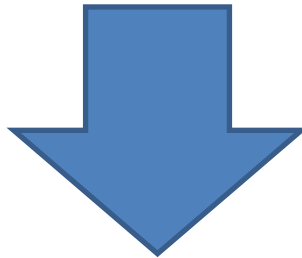
¿Otros beneficios del TP automatizado?

- Reducción trasbordos?
- Reducción tiempos de acceso?
- Aumento cobertura espacial?
- Aumento de frecuencias de operación?
- Aumento horarios de operación? 24h?
- Servicios más directos?
- Reducción de tarifas?



¿Otros beneficios del TP automatizado?

- Reducción trasbordos?
- Reducción tiempos de acceso?
- Aumento cobertura espacial?
- Aumento de frecuencias de operación?
- Aumento horarios de operación? 24h?
- Servicios más directos?
- Reducción de tarifas?



No se obtienen de la tecnología en sí misma, pero serán beneficios asociados a la tecnología si producto de que los vehículos son automatizados, es posible aumentar la oferta de transporte público, tanto en el tiempo como en el espacio.



¿Qué implica buses automatizados para la estructura de costos y el nivel de oferta del transporte público?

¿Qué proporción del costo total del operador de transporte público es el costo de conductores?

Costo operadores de buses urbanos: datos actuales

- Santiago, Chile (6500 buses total)

Item	Porcentaje
Capital (depreciación)	12%
Combustible	26%
Mantenimiento	12%
Conductores	34%
Otros costos	16%
Total	100%

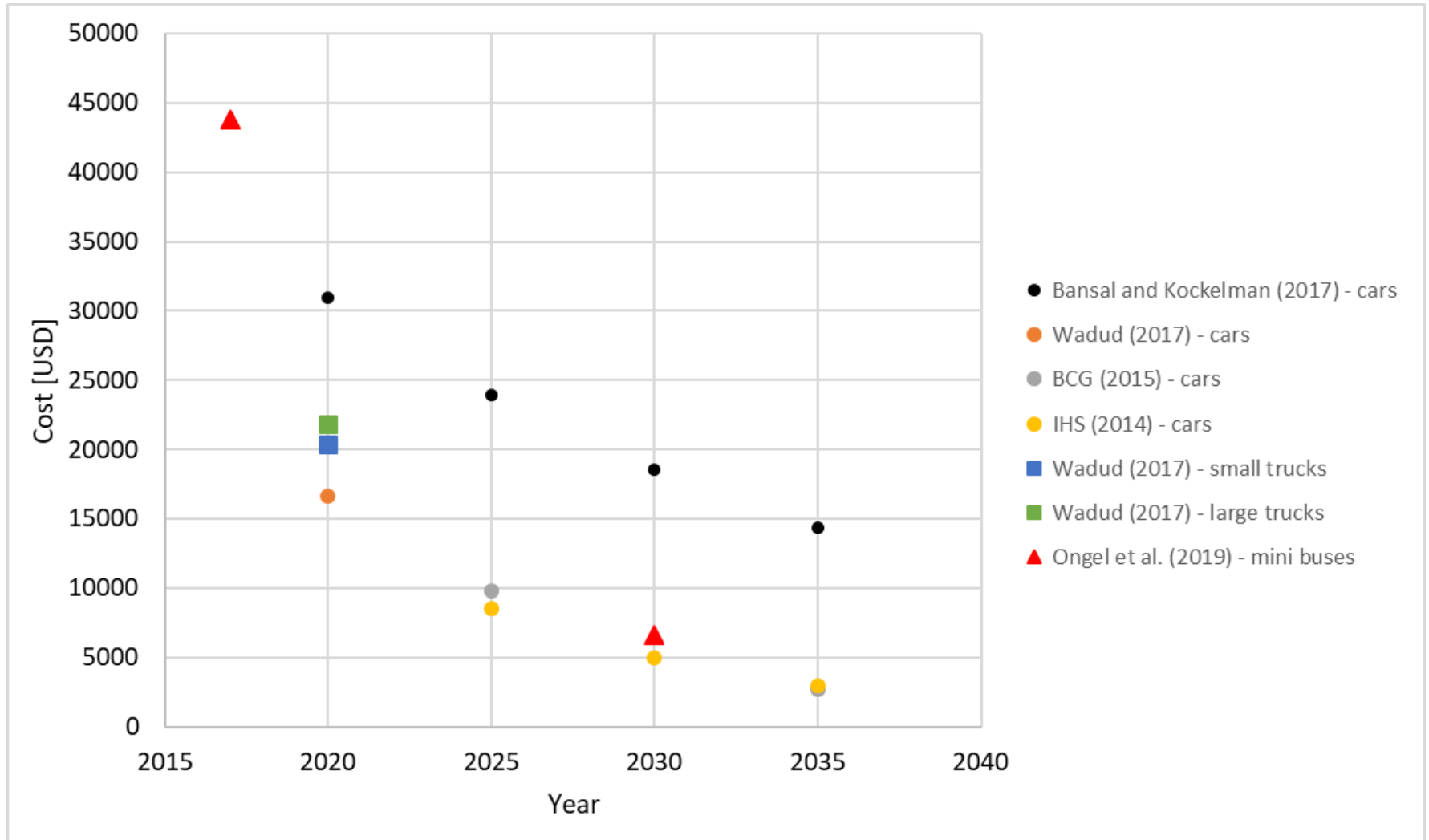
- Dependiendo del tipo de bus, el costo de conductores es **40-70 %** del costo total de operadores en Singapur (Ongel et al. 2019) y Australia (ATC 2006).

ATC (2006). National Guidelines for Transport System Management in Australia – Volume 4: Urban Transport. Australian Transport Council.

Ongel, A., E. Loewer, F. Roemer, G. Sethuraman, F. Chang and M. Lienkamp (2019). Economic assessment of autonomous electric microtransit vehicles. Sustainability 11(3).

... y el costo de la automatización?

Estimación del costo adicional de automatización en vehículos



(Tirachini y Antoniou, 2020)



The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy

Alejandro Tirachini^{a,b,c,*}, Constantinos Antoniou^c

^a Transport Engineering Division, Civil Engineering Department, Universidad de Chile, Chile

^b Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería, Chile

^c Chair of Transportation Systems Engineering, Department of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Automated vehicles
Electric vehicles
Public transport
Shared mobility
Total cost
First-best pricing

ABSTRACT

It is currently unknown in which city environments, automated vehicles could be deployed at reasonable speeds, given safety concerns. We analytically and numerically assess the impact of automation for optimal vehicle size, service frequency, fare, subsidy and degree of economies of scale, by developing a model that is applied for electric vehicles, with data from Chile and Germany, taken as illustrative examples of developed and developing countries. Automation scenarios include cases with partial driving cost savings and reduced running speed for automated vehicles. We find that a potential reduction in vehicle operating cost due to automation benefits operators, through a reduction of operator costs, and also benefits public transport users, through a reduction on waiting times and on the optimal fare per trip. The optimal subsidy per trip is also reduced. The benefits of vehicle automation are greater in countries where drivers' salaries are larger.

Tirachini, A., Antoniou, C. (2020). The economics of automated public transport: Effects on operator cost, travel time, fare and subsidy. *Economics of Transportation*, 21, 100151.

<https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.100151>

Preguntas de investigación

1. ¿Se espera una reducción de costos producto de la automatización en transporte público?
2. Si la respuesta es sí ¿quién debería beneficiarse?
 - Los operadores?
 - Los usuarios?
 - El sector público?
 - Una combinación de ellos?

Metodología

- Minimización del costo total de un servicio de TP:
 - Costo de operación
 - Tiempo de espera
 - Tiempo en vehículo de los usuarios
- Optimización de frecuencia [veh/h], tamaño de vehículo [pax/veh], tarifa [\$/viaje] y subsidio [\$/viaje]:
 - Vehículos conducidos por humanos
 - Vehículos automatizados
- Aplicación: comparación Chile y Alemania con datos vehículos eléctricos

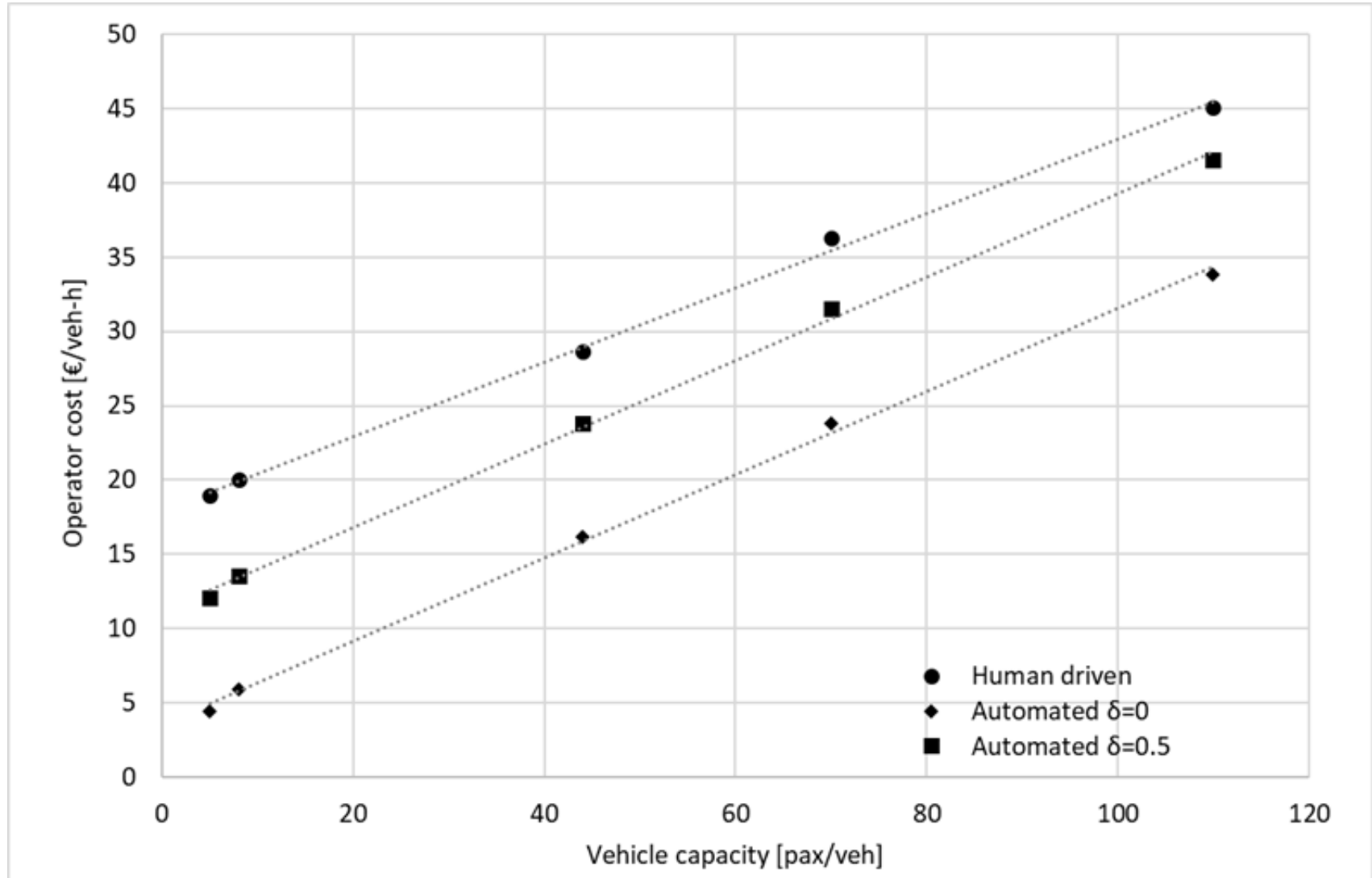
Table 1
Operator cost parameters, Munich.

Parameter	Unit	Car	Van	Mini bus	Standard bus	Articulated bus
Vehicle length	[m]	4	5	8	12	18
Vehicle capacity	[pax/veh]	5	8	44	70	110
Vehicle price	[€/veh]	29490	43433	281234	419429	627696
Energy consumption	[KWh/km]	0.14	0.15	0.64	0.90	1.30
Cost of energy	[€/kwh]	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Average speed	[km/h]	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
Energy cost	[€/veh-h]	0.6	0.6	2.6	3.7	5.3
Driver cost	[€/veh-h]	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3
Vehicle capital cost	[€/veh-h]	1.4	2.1	7.7	11.5	17.2
Vehicle maintenance cost	[€/veh-h]	0.8	1.0	1.6	3.5	3.5
Charging infrastructure cost	[€/veh-h]	0.8	1.0	1.5	2.3	3.8
Increased capital cost automation	[%]	57	57	37	25	24
Capital cost automated vehicle	[€/veh-h]	2.3	3.3	10.5	14.3	21.3
Total cost human-driven vehicle	[€/veh-h]	18.9	20.0	28.7	36.3	45.1
Total cost automated vehicle, $\delta = 0$	[€/veh-h]	4.4	5.9	16.2	23.8	33.9
Total cost automated vehicle, $\delta = 0.5$	[€/veh-h]	12.1	13.6	23.9	31.5	41.5

Table 2
Operator cost parameters, Santiago.

Parameter	Unit	Car	Van	Mini bus	Standard bus	Articulated bus
Vehicle length	[m]	4	5	7.7	12	18
Vehicle capacity	[pax/veh]	5	8	50	90	140
Vehicle price	[€/veh]	29490	43433	189881	283186	423802
Energy consumption	[KWh/km]	0.14	0.15	0.64	0.90	1.30
Cost of energy	[€/kwh]	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Average speed	[km/h]	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3
Energy cost	[€/veh-h]	0.4	0.4	1.6	2.2	3.2
Driver cost	[€/veh-h]	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Vehicle capital cost	[€/veh-h]	1.4	2.1	5.2	7.7	11.6
Vehicle maintenance cost	[€/veh-h]	0.8	1.0	1.6	3.5	3.5
Charging infrastructure cost	[€/veh-h]	0.8	1.0	1.6	2.5	4.0
Increased capital cost automation	[%]	57	57	37	25	24
Capital cost automated vehicle	[€/veh-h]	2.3	3.3	7.1	9.7	14.4
Total cost human-driven vehicle	[€/veh-h]	9.6	10.7	16.1	22.1	28.5
Total cost automated vehicle, $\delta = 0$	[€/veh-h]	4.3	5.7	11.8	17.9	25.1
Total cost automated vehicle, $\delta = 0.5$	[€/veh-h]	7.3	8.8	14.9	21.0	28.2

Costo de operador automatizado vs conducido por humanos (caso Munich)



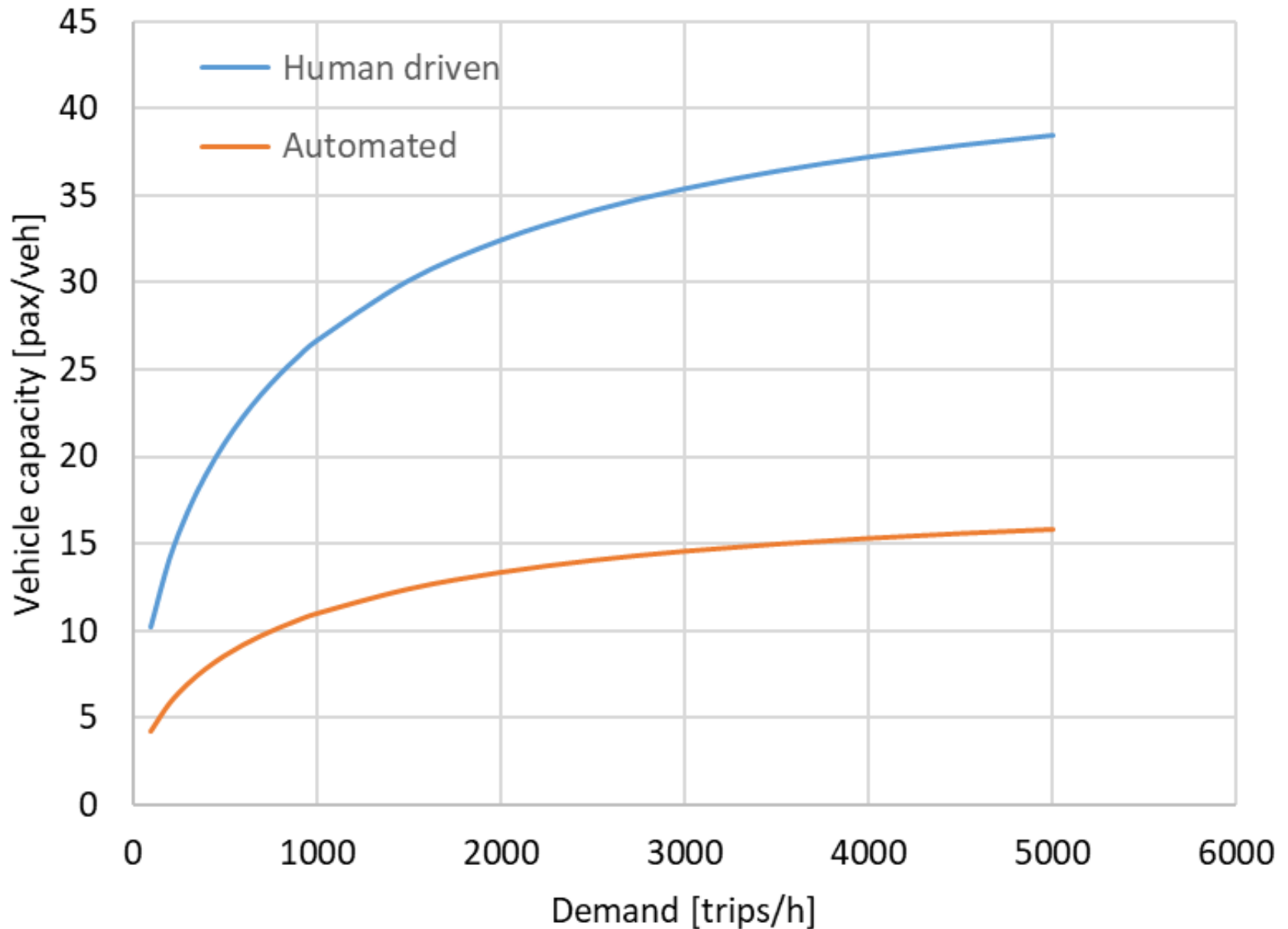
(Tirachini y Antoniou, 2020)

Resultados: efectos de la automatización en transporte público

1. Costo de operación **disminuye**
 - Depende del porcentaje de costo de conductores que se ahorra (será 100% de ahorro?)
2. Frecuencia óptima de servicios **aumenta**
 - Reducción tiempo de espera de usuarios
3. Tamaño óptimo de los vehículos **disminuye**. Influye en elección:



Optimal vehicle capacity



Ejemplo con datos de Munich

Resultados: efectos de la automatización en transporte público

4. Tarifa óptima por viaje disminuye
 - Beneficio para los usuarios
5. Subsidio óptimo por viaje disminuye
 - Beneficio sector público
6. Beneficios son mayores en Alemania que en Chile



¿Castillos en el aire?

**Todo esto suena muy lindo...
pero estamos suponiendo que la
automatización va a funcionar**

¿supuesto débil o fuerte?

February 08, 2020 04:53 AM

Autonomous vehicles undergo 'reality check'

PETER SIGAL

TWEET SHARE IN SHARE EMAIL

PRINT



Self-driving cars that allow drivers and occupants to relax during journeys are not as close to launching as optimists had hoped.



Vehicle Sales and Profitability: What Manufacturers

Not long ago, optimists predicted that fully self-driving cars would be on the road by 2020. Today, top automotive executives are taking a more pragmatic view, as the cost and

- La tecnología que permite la circulación de vehículos automatizados en ambientes segregados existe e incluso está disponible como software abierto.
- Sin embargo, las interacciones entre vehículos automatizados y peatones en ambientes complejos requieren un nivel de “**inteligencia social**” en la **programación de vehículos automatizados que aún no está disponible** (Camara et al., 2020).

Camara, F., Bellotto, N., Cosar, S. et al. (2020) Pedestrian models for autonomous driving part I: low level models, from sensing to tracking. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

El primer sistema de Metro automatizado es de... 1983 (Lille, Francia)



<https://citymonitor.ai/transport/lille-had-europe-s-first-fully-automated-metro-system-it-opened-1983-3856>

https://en.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9hicule_Automatique_L%C3%A9ger

¿Funcionará la automatización vehicular en todos los ambientes urbanos y de circulación?



Essen, Alemania



Sydney, Australia



Hong Kong, China

Diferentes grados de complejidad y segregación de modos



Curitiba, Brazil



Essen, Alemania



Lyon, Francia

GLOBAL BRT Data
 34,001,175
 PASSENGERS PER DAY

BY LOCATION

BY INDICATOR

BRT PANORAMA

ABOUT BRTDATA

176
 CITIES

5,308 km
 TOTAL LENGTH

> KEY INDICATORS per Region

Regions	Passengers per Day	Number of Cities	Length (km)
Africa	491,578 (1.44%)	5 (2.84%)	131 (2.47%)
Asia	9,561,593 (28.12%)	45 (25.56%)	1,647 (31.02%)
Europe	1,613,580 (4.74%)	44 (25%)	875 (16.48%)
Latin America	20,909,541 (61.49%)	56 (31.81%)	1,863 (35.09%)
Northern America	988,683 (2.9%)	21 (11.93%)	683 (12.86%)
Oceania	436,200 (1.28%)	5 (2.84%)	109 (2.05%)

<https://brtdata.org/>

Problemas para el transporte público automatizado

1. ¿Qué pensarán los usuarios? ¿Les gustará un bus compartido sin conductor ni nadie a cargo?
2. ¿Qué pensarán los conductores?
 - 3 millones de conductores de buses municipales en el mundo (Bloomberg 2018).
 - Compensaciones a conductores.
3. El 100% del costo de conductores NO será ahorrado por **nuevas necesidades de personas:**
 - Labores de seguridad.
 - Información a usuarios.
 - Back-office.
 - Ejemplos:
 - Botón de pánico.
 - Asistencia a personas con movilidad reducida para subir y bajar.

Problemas para el transporte público automatizado

1. **¿Qué pensarán los usuarios? ¿Les gustará un bus compartido sin conductor ni nadie a cargo?**
2. **¿Qué pensarán los conductores?**
 - 3 millones de conductores de buses municipales en el mundo (Bloomberg 2018).
 - Compensaciones a conductores.
3. **El 100% del costo de conductores NO será ahorrado por nuevas necesidades de personas:**
 - Labores de seguridad.
 - Información a usuarios.
 - Back-office.
 - Ejemplos:
 - Botón de pánico.
 - Asistencia a personas con movilidad reducida para subir y bajar.

Encuesta FCFM U. de Chile (2019)

Encuesta Vehículos Autónomos

Hola! Le invitamos a participar de una breve encuesta sobre hábitos de transporte y sobre su opinión de los vehículos autónomos, es decir, aquellos vehículos que son sensorizados y equipados con radares y cámaras para detectar lo que sucede a su alrededor, de forma tal de que se puedan desplazar sin necesidad de conductor humano, al menos en ciertos tipos caminos y ambientes.

Un vehículo autónomo es capaz de seguir una ruta, detenerse en intersecciones con semáforo o señal de prioridad y frenar o detenerse completamente al detectar un objeto o persona en su ruta. Este tipo de vehículos está siendo probado actualmente en distintos países y **en Santiago acaba de empezar un proyecto piloto con un minibus (shuttle) automatizado de uso gratuito en el Parque O'Higgins (hasta el 6 de marzo de 2020).**

A continuación se muestran fotografías actuales de un automóvil autónomo y un minibus autónomo en funcionamiento:



Con Marcela Munizaga, Angelo Guevara y Cristóbal Pineda

Un vehículo automatizado luce así...

Auto



Minibus

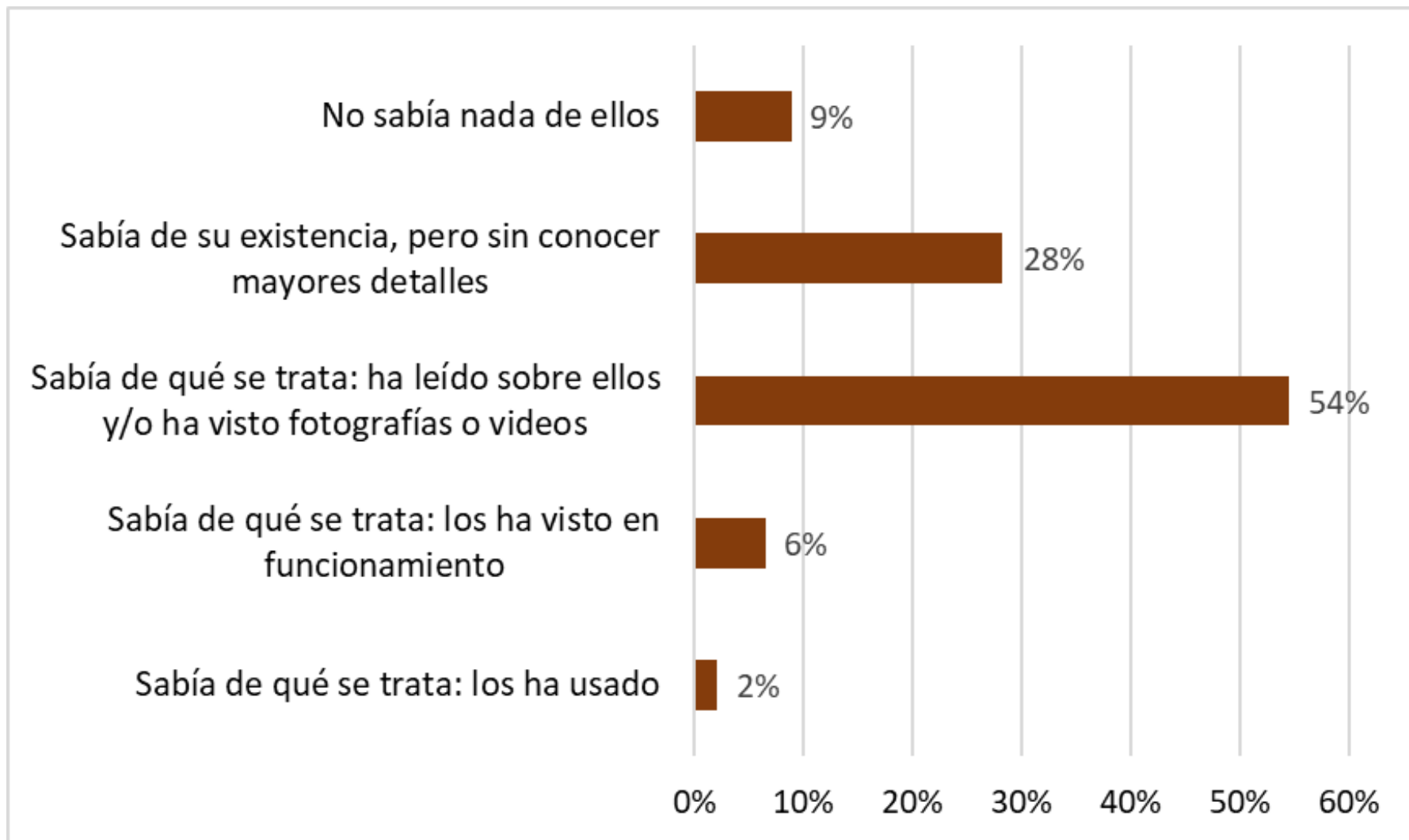


Bus

(más descripción de tecnología y funcionalidades en los tres casos)

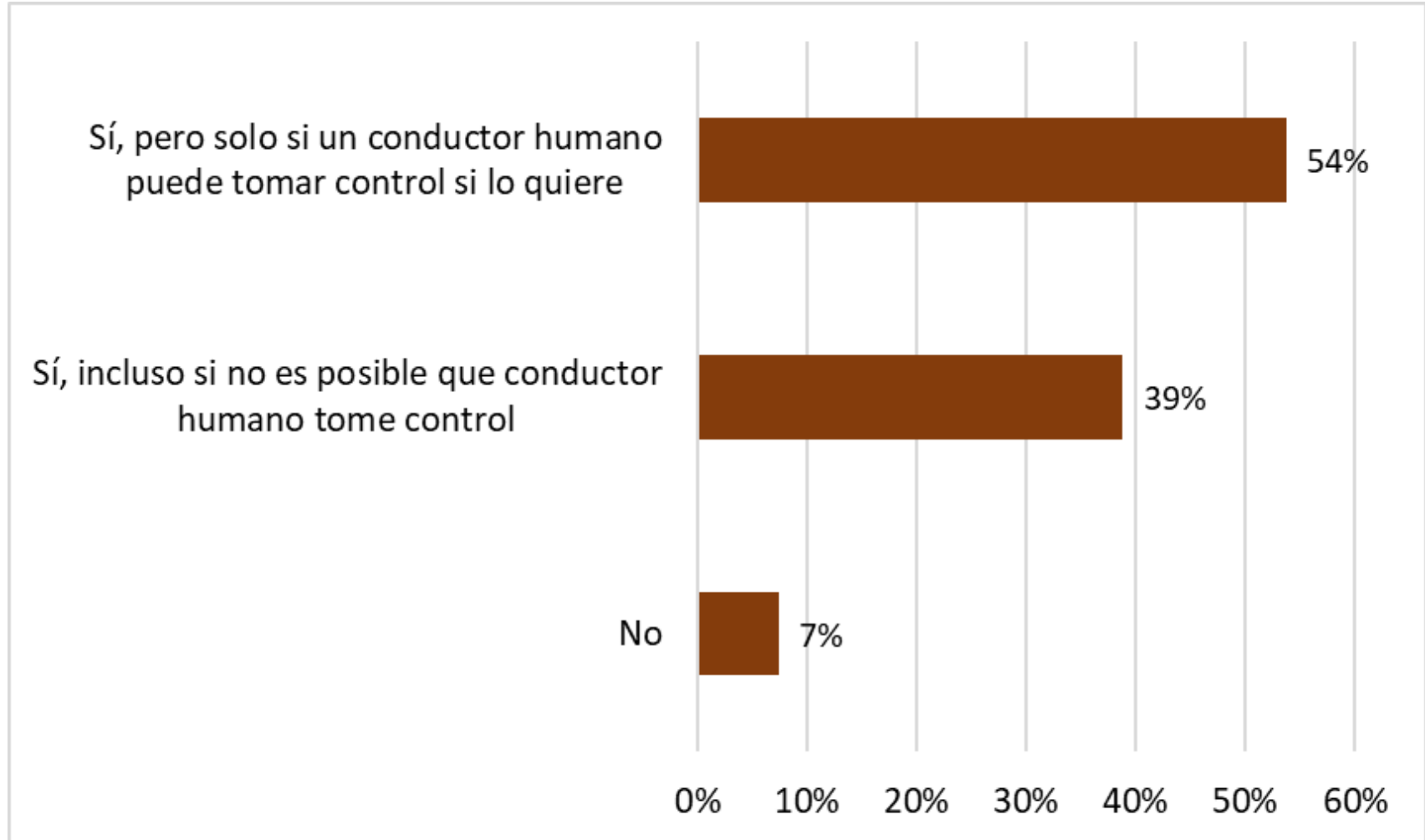


Previo a esta encuesta ¿qué conocimiento tiene de los vehículos automatizados?

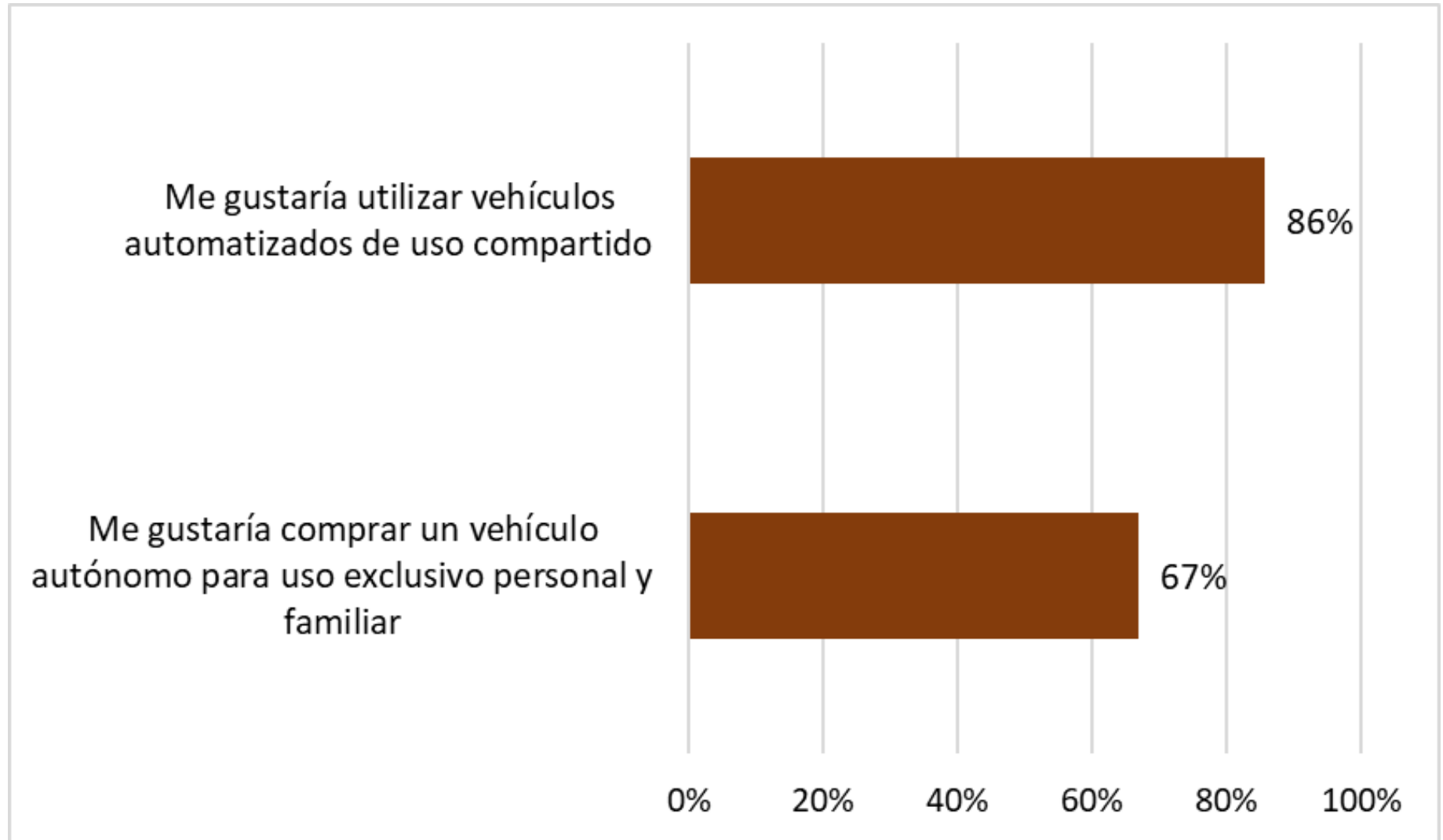


(n=248)

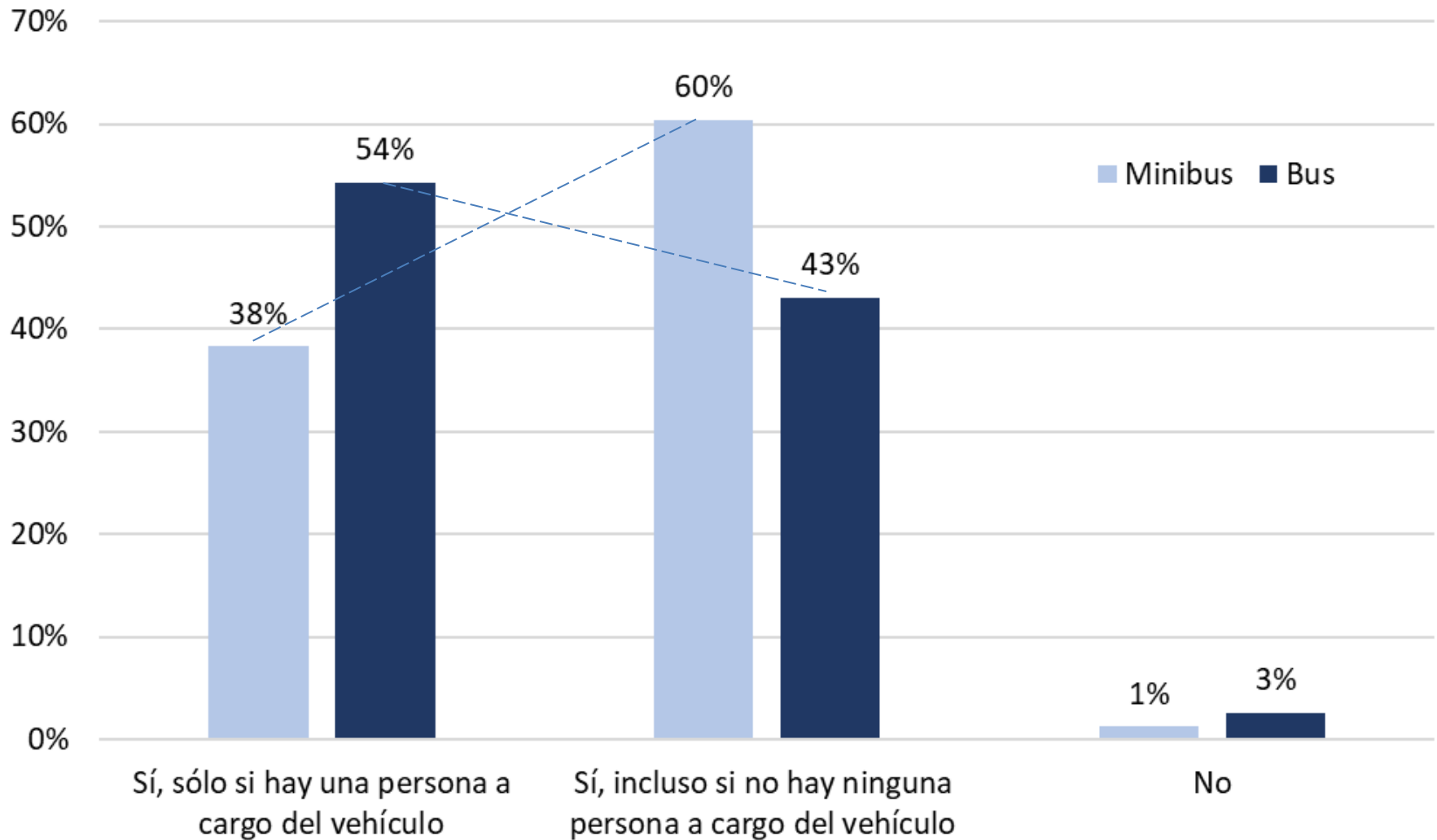
¿Usaría un automóvil automatizado?



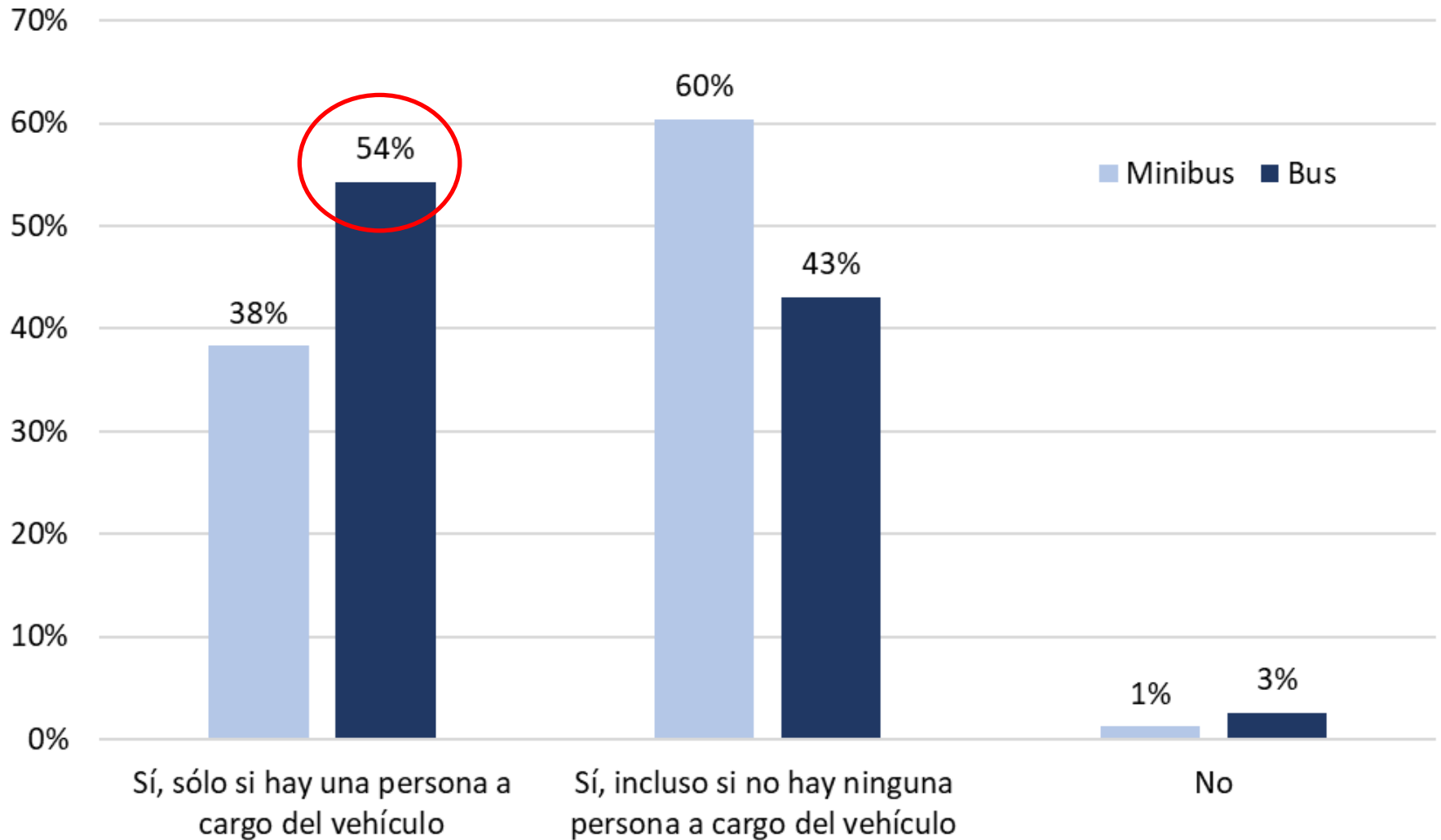
¿Le gustaría comprar un automóvil automatizado y/o usarlo sin comprarlo?



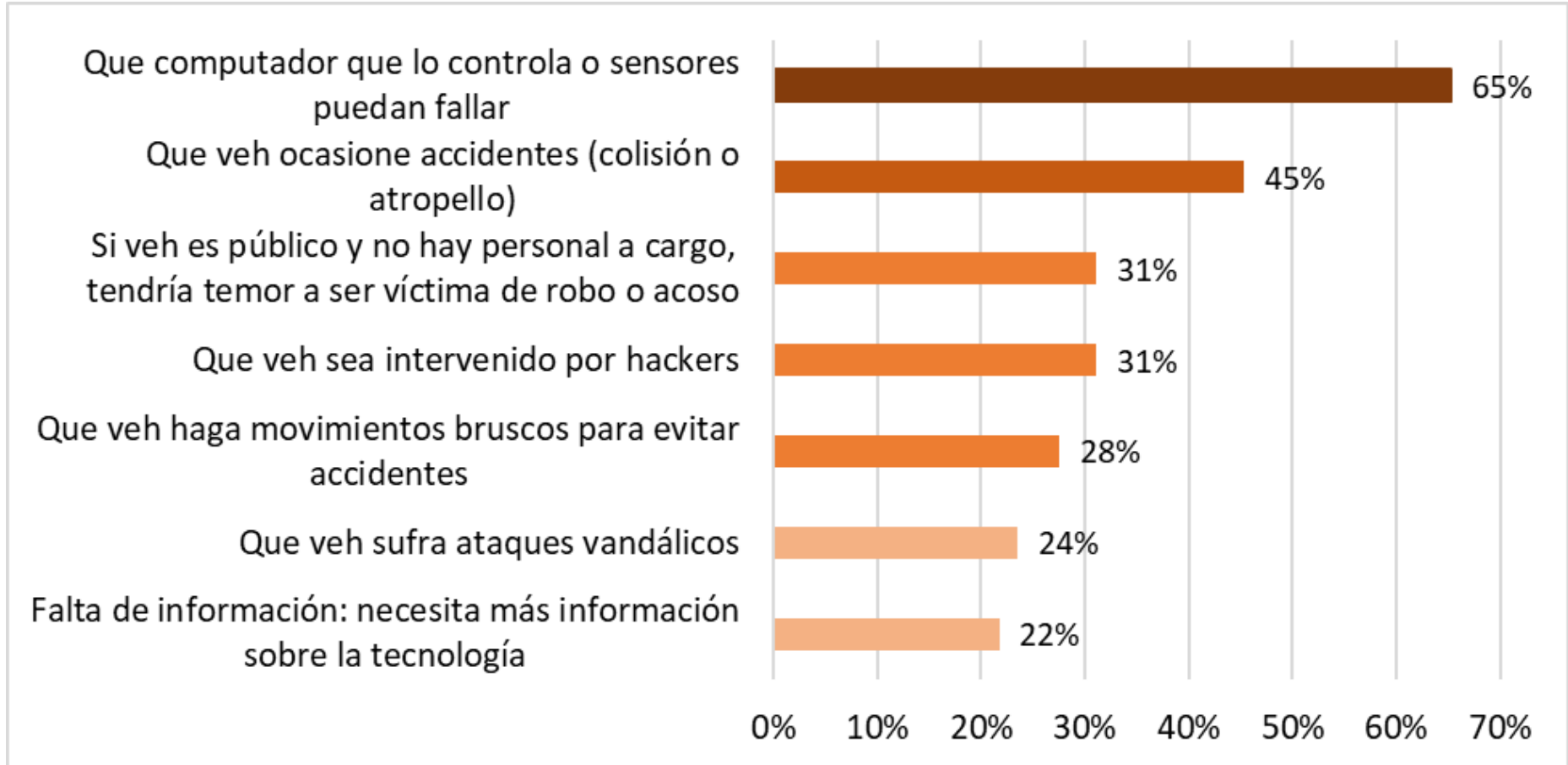
¿Utilizaría un minibus o bus automatizado?



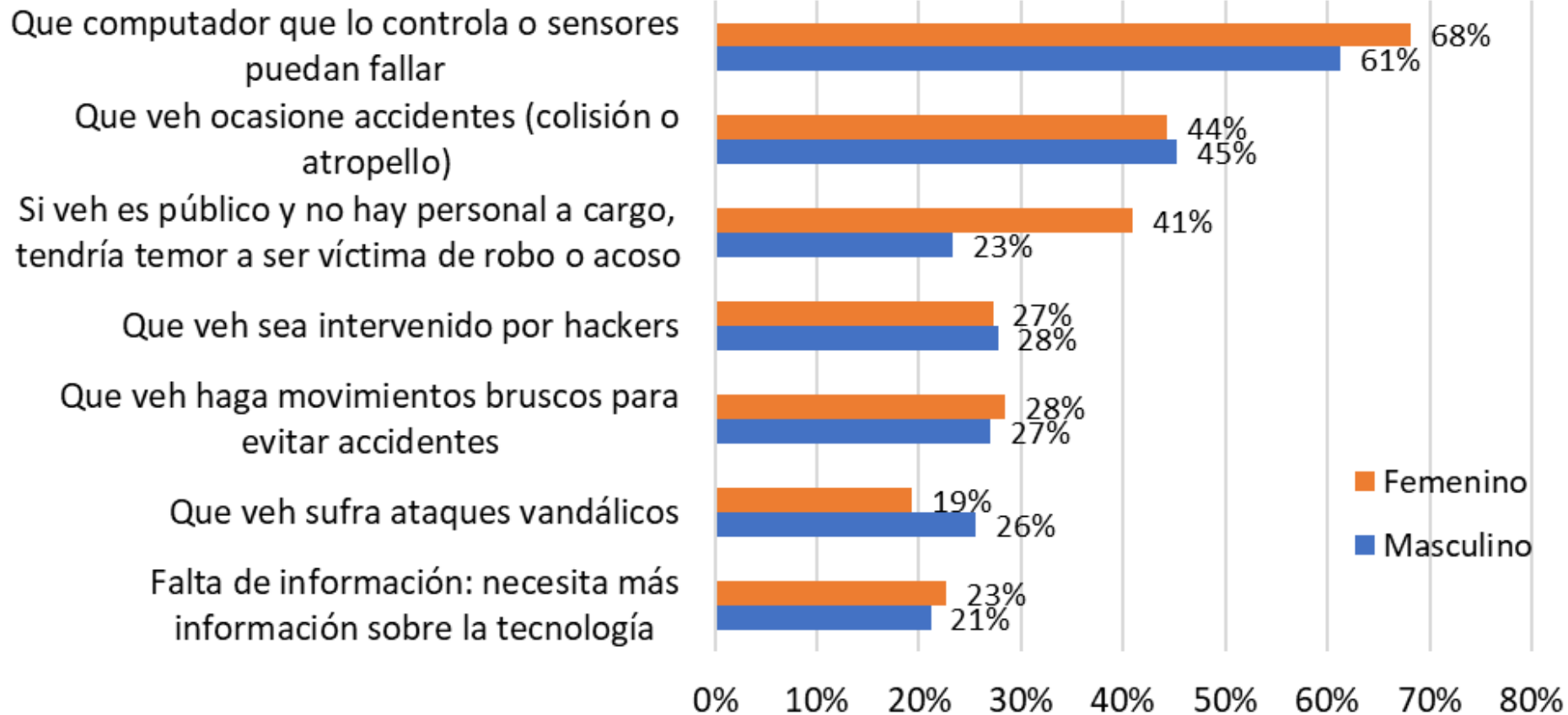
¿Utilizaría un minibus o bus automatizado?



¿Qué temores tendría al usar un vehículo automatizado?



¿Qué temores tendría al usar un vehículo automatizado?



En conclusión: transporte público automatizado

- Gran potencial.
- Condicionado por factores sociales.
- Potencial del TP automatizado depende de **decisiones en niveles superiores**, regulación e incentivos económicos:
 - ¿Compra autos automatizados para uso personal a libre albedrío? **“Prefiere la independencia y conveniencia del auto”**
 - Autos automatizados compartidos harán más difusa la separación entre transporte público y transporte privado.
 - Posesión versus uso del automóvil será clave en mundo de vehículos automatizados.

Otras referencias citadas

- Abe, R. (2019). Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 126: 94-113.
- Bansal, P. and K. M. Kockelman (2017). Forecasting Americans' long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 95: 49-63.
- BCG (2015). Revolution in the driver's seat: the road to autonomous vehicles. Report, The Boston Consulting Group, April 2015.
- Bösch, P. M., F. Becker, H. Becker and K. W. Axhausen (2018). Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy* 64: 76-91.
- Wadud, Z. (2017). Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 101: 163-176.
- Zhang, W., E. Jenelius and H. Badia (2019). Efficiency of Semi-Autonomous and Fully Autonomous Bus Services in Trunk-and-Branched Networks. *Journal of Advanced Transportation* 2019: 17.

Fin