

# VALORACIÓN DE MEJORAS DE ACCESO AL TRANSPORTE PÚBLICO PARA PERSONAS CON DIFICULTAD VISUAL

Nicolás Cabello <sup>1</sup>, Patricia Galilea <sup>1\*</sup>, Juan de Dios Ortúzar <sup>12</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

<sup>2</sup> Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI), Chile

---

\*Autor para  
correspondencia:  
[pgalilar@uc.cl](mailto:pgalilar@uc.cl)

## RESUMEN

Las personas con discapacidad suelen tener restricciones de movilidad que dificultan su participación en actividades disponibles para la mayoría de la población, constituyendo una forma de exclusión social. Santiago de Chile ha experimentado una mejora sostenida en la accesibilidad universal al transporte público en los últimos años, mediante diversos planes y proyectos públicos. Sin embargo, estas mejoras se han enfocado a resolver los problemas de personas con discapacidad física (por ejemplo, que deben usar silla de ruedas), cuyas necesidades y barreras son muy distintas a las de personas con dificultad visual. Esta investigación buscó valorizar la incorporación de medidas especialmente diseñadas para mejorar la accesibilidad a buses por parte de este tipo de personas: información audiovisual al interior del bus, información auditiva al exterior del bus y estandarización de los buses. Para esto se diseñó y aplicó una sofisticada encuesta de preferencias declaradas, que incluía indicadores perceptuales respecto a la capacidad de desplazarse en forma independiente en la red de transporte público por parte de los encuestados. Con los datos obtenidos para una muestra de 529 personas, se estimó modelos híbridos de elección discreta que incluyeron variables latentes para representar la independencia (tanto tecnológica como de movilidad) de cada individuo. Los resultados reflejan que la valorización de los elementos estudiados es muy diferente entre personas con y sin dificultad visual, y que también depende de otras características, como género, discapacidad física, ocupación y disponibilidad de automóvil en el hogar.

**Palabras clave** discapacidad visual, exclusión social, preferencias declaradas, variables latentes, modelos híbridos de elección discreta, valoración social.

## ABSTRACT

*People with disabilities face mobility restrictions that hinder their participation in activities available to most of the population, constituting a form of social exclusion. Santiago de Chile has experienced a sustained improvement in universal accessibility to public transportation in recent years through various public plans and projects. However, these improvements have focused on addressing the needs of people with physical disabilities (such as those who use wheelchairs), whose needs and barriers are very different from those with visual impairments. This research aimed to evaluate the incorporation of measures specifically designed to improve bus accessibility for visually impaired people. To achieve this, a sophisticated stated preference survey was designed and applied, which included perceptual indicators regarding the ability of respondents to move independently within the public transportation network. Using data obtained from a sample of 529 people, hybrid discrete choice models were estimated, which included latent variables representing everyone's technological and mobility independence. The results reflect that the valuation of the elements studied varies significantly between people with and without visual impairments, and it also depends on other characteristics such as gender, physical disability, occupation, and availability of a car at home.*

**Keywords** visual disability, social exclusion, stated preferences, latent variables, hybrid discrete choice models, social valuation.

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La movilidad es un factor cada vez más importante para ser un ciudadano plenamente funcional (Aarhaug y Elvebakk, 2005), e interesa entender cómo restricciones a esta pueden constituirse en causales de exclusión social (Preston y Rajé, 2007; Priya y Uteng, 2009), al impedir o dificultar la participación en actividades disponibles para la mayoría de la sociedad (Levitas et al., 2007).

En particular, se ha argumentado que tener movilidad reducida al transporte público es una importante causa de exclusión social (Rosenbloom, 2007). Esto afecta a las mujeres, adultos mayores, personas de ingreso bajo y, especialmente, a quienes tienen algún tipo de discapacidad (Barnes y Mercer, 2005). Sin embargo, el espectro de discapacidad no solo considera a las personas en silla de ruedas, como generalmente se hace en políticas públicas o publicaciones académicas (Low et al., 2020), sino también a la población con dificultades de visión y discapacidad cognitiva, entre otras.

Asociado a la accesibilidad, a principios de siglo surgió el concepto de *diseño universal* (DU), que busca concebir productos y servicios aptos para todos (Stephanidis, 2001). Este concepto se ha aplicado recientemente en Chile, en instituciones de transporte público como el Metro y la Red Metropolitana de Movilidad (Red). En efecto, Metro implementó un plan de accesibilidad universal que, antes del estallido social de octubre de 2019, ya permitía contar con ascensores equipados en el 100% de sus estaciones y diferentes elementos de diseño universal en todas sus líneas (MTT, 2020). Por otro lado, a fines de 2019, cerca del 87% de los casi 6.500 buses de la flota base de Red contaba con accesibilidad universal (DTPM, 2020); esto es, rampas, asientos preferentes, y espacios reservados para silla de ruedas, entre otros.

A pesar de lo anterior, el enfoque de accesibilidad de estas instituciones ha prácticamente ignorado las necesidades de la población con dificultades de visión y discapacidad cognitiva. Así, existe una oportunidad de diseñar y proponer políticas públicas que vayan en su beneficio. Específicamente, en este trabajo se abordan las necesidades de personas con dificultad visual, quienes usualmente tienen problemas para acceder a información y falta de independencia al movilizarse en lugares desconocidos (Casey et al., 2013). Esta es una brecha de conocimiento importante, dado que cerca del 72% de la población chilena sobre los 18 años con discapacidad, posee algún tipo de enfermedad asociada a la visión y, más grave aún, cerca del 11.9% de éstas son ciegas o presentan dificultades para ver, incluso usando lentes (SENADIS, 2016).

Así, el objetivo principal de esta investigación es estimar la valorización de elementos que permitan mejorar la accesibilidad a buses del transporte público de personas ciegas o con visión parcial (Crudden et al., 2015; Boadi-Kusi et al., 2024). Para esto, se consideró la integración de variables latentes (Bahamonde-Birke et al., 2017a) que permitieran capturar ciertos aspectos de su comportamiento que no pueden ser medidos directamente; en particular, su independencia, tanto tecnológica como de movilización. Se encontraron pocos trabajos sobre este tema en la literatura, la mayoría reportando experiencias cualitativas con muestras muy reducidas e interesadas en temas como la dignidad de la experiencia o el estrés asociado a transportarse por parte de personas con dificultad visual (Park & Chodhoury, 2018; Chapman et al., 2024). Destaca el trabajo de Guajardo y Raveau (2024), quienes abordaron la elección de modo por parte de personas con esta dificultad, utilizando un modelo híbrido de elección discreta similar al estimado en este artículo.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2, se describe la metodología utilizada para construir la encuesta de preferencias declaradas. Posteriormente, en la Sección 3, se hace una breve caracterización de la muestra, y se discuten los resultados de los principales modelos estimados. Finalmente, en la Sección 4, se presentan las conclusiones y futuras líneas de estudio.

## 2. DISEÑO DE LA ENCUESTA

### 2.1 Selección de Elementos a Analizar

Este proceso consideró tres etapas. La primera, una exhaustiva búsqueda bibliográfica sobre estudios que hubieran valorizado elementos de distinto tipo en buses, como se muestra en la Tabla 1. De aquí se seleccionó aquellos que tuviesen alguna componente de diseño universal y que, eventualmente, pudieran ser incorporados en los buses de Red que circulan en Santiago.

**Tabla 1** Análisis de elementos valorizados en la literatura

Elemento	Australian Transport Council (2006)	Fearnley et al. (2011)	Phanikumar & Maitra (2006)	Currie & Wallis (2008)	Peña et al. (2018)
<b>Que no contienen componentes de diseño universal</b>					
Limpieza interior del bus	✓				
Ventanas limpias	✓				
Ventilación	✓				
Apariencia del bus			✓		
Asientos cómodos			✓		
Ruido			✓		
Reloj visible	✓				
<b>Que contienen componentes de diseño universal</b>					
Buses de piso bajo		✓			
Accesibilidad en el acceso a los buses				✓	
Información visual en el bus		✓			
Información auditiva en el bus	✓	✓			
Información audiovisual al interior del bus		✓			
Rampas					✓

La segunda etapa consideró la opinión de dos grupos de personas clave para el estudio: (i) individuos con alguna dificultad visual y (ii) profesionales que trabajaran en fundaciones o instituciones dedicadas al apoyo de personas con este problema. El primer grupo participó en entrevistas en profundidad y grupos focales, que tenían como objetivo entender sus principales barreras al utilizar transporte público. El segundo grupo, además de participar en entrevistas, debió responder una encuesta Delphi (Jones, 2002), que ayudó a determinar qué elementos de accesibilidad universal podrían mejorar la experiencia de personas con dificultad visual al utilizar los buses.

---

Tras esta etapa, se eligió los siguientes elementos:

- información audiovisual al interior del bus, mediante una pantalla que emite información tanto visual como auditiva sobre el recorrido actual y las próximas paradas del bus;
- información auditiva al exterior del bus, que requiere la instalación de altavoces a los costados de las puertas del bus, indicando su llegada al paradero;
- estandarización del bus, esto es, una homologación tal que independiente del vehículo que la persona aborde, todos sus elementos como puertas, pilares, botones de parada, asientos y tótem de pago, están distribuidos de la misma forma; y
- presencia de torniquetes, esto es, incorporación de una barrera física que solo permita el ingreso al bus tras pagar la tarifa en el tótem de pago.

Todos los elementos anteriores fueron explicados en detalle a los encuestados de manera que no existieran dudas sobre su significado al contestar la encuesta.

Como última variable del experimento, se incorporó al tiempo de espera para abordar el bus, como una forma de representar el 'costo' de disponer mayor accesibilidad en los buses; vale decir, se suponía que para abordar un bus equipado con los elementos era necesario esperar más tiempo. No se utilizó la tarifa por dos motivos: (i) nos pareció poco realista que esta variara dependiendo del tipo de bus y (ii) una proporción significativa de las personas con dificultad visual pertenece a los quintiles de menor ingreso familiar (SENADIS, 2016), lo que podría haber inducido un comportamiento lexicográfico por parte de los encuestados.

La tercera etapa consistió en diseñar y aplicar una encuesta piloto para verificar que los elementos seleccionados fueran correctamente entendidos; sus resultados se describen a continuación.

## **2.2 Resultados de la Encuesta Piloto**

Un resultado importante de esta etapa, fue que al modelar con los datos recolectados en la encuesta, la presencia de torniquetes no resultó significativa, por lo que se decidió no incluir este elemento en la encuesta definitiva. Otro aspecto importante es que en la encuesta piloto se definió, como es usual, tres niveles para el tiempo de espera: el valor declarado por el encuestado (base), +15% y -15% de éste. Sin embargo, esto causó dos problemas: (i) para tiempos de espera pequeños la variación era casi nula, implicando una nula participación de la variable en la elección de bus; (ii) para tiempos de espera grandes, el atributo pasaba a tomar demasiada relevancia dominando la elección.

Por este motivo, en la encuesta definitiva se decidió definir cuatro bloques para la variable tiempo de espera, cada uno con tres niveles, que fueron asignados a los encuestado según el tiempo de espera declarado previamente. Así, los niveles de variación de este atributo quedaron inversamente proporcionales al tiempo de espera declarado, resultando que a un bloque de mayor minutaje se le asignaba una menor variación. Los bloques utilizados en la encuesta definitiva quedaron conformados como se muestra en la Tabla 2.

Para validar este cambio en la forma de ingresar los tiempos de espera, se realizó una simulación para recuperar parámetros, que se detalla en profundidad en la sección siguiente.

**Tabla 2** Bloques de tiempo de espera para la encuesta definitiva

Bloque	Tiempo Base	Variación (%)	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo
Bloque 0 - 10 min	5	40	3	7
Bloque 10 - 15 min	12	35	8	16
Bloque 15 - 20 min	17	30	12	22
Bloque 20 o más min	25	25	19	31

Otros cambios menores fueron: (i) preguntar si el encuestado había tenido algún accidente u operación que le impidiera desplazarse con normalidad; (ii) consultar el motivo del viaje; (iii) incorporar imágenes gráficas indicando la presencia o no de los distintos elementos, flechas indicando si el tiempo de espera era menor, igual o mayor al reportado; (iv) modificar la estructura de los escenarios de elección para la versión adaptada a personas con dificultad visual, en base a comentarios realizados por personal de las instituciones que trabajan con este tipo de personas, (iv) modificar dos de las diez frases utilizadas en la encuesta piloto, que no habían sido encontradas claras por parte de los encuestados.

Finalmente, en base a los comentarios recibidos durante la encuesta piloto, se concluyó que sería mejor incluir menos preguntas por hoja, a fin de no cansar a los encuestados y reducir la tasa de deserción de la encuesta. La primera versión sólo había sido testeada en un grupo reducido de personas ciegas, familiarizadas con herramientas tecnológicas; por este motivo, posteriormente se trabajó con un grupo más extenso de personas con dificultad visual, a fin de converger a una encuesta que fuera legible en cualquier dispositivo y que, a la vez, fuese clara en su contenido.

### **2.3 Simulación para Recuperar Parámetros**

Como una herramienta para controlar la calidad de los experimentos de preferencias declaradas (PD), se recomienda considerar el uso de datos simulados (Ortúzar y Willumsen, 2024, Cap. 2). Esto permite verificar que el diseño propuesto sea adecuado, identificando si existen atributos dominantes. Para esto, y siguiendo la propuesta de Williams y Ortúzar (1982), se procedió a generar una muestra de 25.000 individuos que se comportaban de acuerdo con los postulados de un modelo Logit Binario y que debían elegir una alternativa en cada uno de los seis escenarios de elección planteados en la encuesta definitiva. Lo anterior generó un banco de datos con 150.000 observaciones\*.

Previo a la simulación y para obtener resultados más acordes a la realidad, se decidió utilizar las proporciones de tiempo obtenidos en la encuesta piloto para abastecer el proceso. De esta forma, los bloques de tiempo de espera uno y tres (en la Tabla 2) tenían una probabilidad de 1/6, mientras que los bloques dos y cuatro tenían una probabilidad de 1/3. Con lo anterior fue posible calcular, para cada individuo simulado, la utilidad representativa de cada alternativa en función de los cuatro

---

\* Consistente con la recomendación de Williams y Ortúzar (1982), de requerir al menos 100 mil observaciones para garantizar la recuperación de parámetros incluso en un modelo tan sencillo.

atributos considerados en la encuesta, utilizando como parámetros “verdaderos” a los derivados de la encuesta piloto (sin considerar torniquetes).

Calculado el valor de la componente determinística de la función de utilidad se procedió a generar, para cada alternativa y en cada situación de elección, los valores del componente de error. Estos distribuyen independiente e idénticamente Valor Extremo Tipo I con media 0 y desviación estándar  $\sigma$ ; para obtener el error correspondiente a cada alternativa  $i$ , se utiliza el método de la transformada inversa aprovechando las condiciones demostradas por Williams (1977) para los parámetros de la función. En este caso, la función acumulada inversa tiene la siguiente forma:

$$F^{-1}(\varepsilon) = \frac{-\sigma\sqrt{6}}{\pi} * (\gamma + \ln(-\ln(r_i))) \quad (1)$$

donde  $\gamma$  es la constante de Euler (0,577) y  $r_i$  un número aleatorio con distribución Uniforme (0,1).

Como  $\sigma$  no es constante, el algoritmo se debe iterar para distintos valores (notar que cuando  $\sigma = 0$ , la elección sólo considera la componente determinística), verificando si para algún valor “razonable” se logra recuperar los parámetros “verdaderos” al estimar el modelo con los datos generados. Al añadir a la utilidad determinística los valores simulados para la componente de error, se obtiene la utilidad de cada alternativa y con esto se determina, para cada situación planteada, la alternativa elegida (esto es, el bus que genere una mayor utilidad). Posteriormente, con los datos generados (esto es, alternativa elegida y valores de los atributos de cada una) es posible estimar modelos Logit Binarios y comparar los parámetros obtenidos con los ingresados como “verdaderos”.

Para determinar qué valor de  $\sigma$  ajustaba mejor, se utilizó el error cuadrático medio (*RMSE*), entre los parámetros de la encuesta piloto (“verdaderos”) y los simulados:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{j=1}^N \frac{(\theta_j - \theta_{j_{sim}})^2}{n}} \quad (2)$$

donde  $\theta_j$  es el parámetro “verdadero”,  $\theta_{j_{sim}}$  el parámetro obtenido tras la simulación, y  $n$  el número de parámetros estimados.

Tras simular para distintos valores de  $\sigma$  se observó que 1,3 producía el menor *RMSE*, y con este valor se logró recuperar adecuadamente los parámetros (ver Tabla 3) bajo el diseño propuesto. Por ende, con esto se validó el uso de los bloques de tiempo de espera propuestos para la encuesta definitiva.

**Tabla 3** Comparación de parámetros verdaderos vs simulados

Bloque	Parámetro Verdadero	Parámetro Estimado	Variación (%)
Información audiovisual al interior	1,490	1,460	2,0
Información auditiva al exterior	0,532	0,576	-8,3
Bus estandarizado	0,589	0,543	7,8
Tiempo de espera	-0,165	-0,159	3,6

---

## 2.4 Aplicación de la Encuesta Definitiva

La encuesta de preferencias declaradas fue aplicada en-línea mediante la plataforma Qualtrics, debido a la situación de pandemia global que afectaba al país al momento del estudio. El instrumento tuvo dos versiones (que compartían la misma información): una adaptada para celulares y otra para computadores y, dependiendo de sus necesidades, cada persona podía escoger la versión que le resultara más conveniente. La encuesta podía ser respondida por cualquier habitante de Santiago que tuviera más de 18 años. Como su principal medio de difusión fueron las redes sociales, se diseñó un plan para capturar la mayor cantidad de respuestas de personas con discapacidad visual, mediante su difusión entre los participantes de las fundaciones e instituciones dedicadas a apoyar la discapacidad visual en la ciudad.

La encuesta constó de cinco partes. La primera, buscaba obtener información para caracterizar al encuestado, esto es, edad, género, ingreso, nivel educacional. La segunda consultaba sobre su grado de discapacidad, aplicando el instrumento *Short Set of Disability Questions*<sup>†</sup>. En la tercera se hizo preguntas asociadas al motivo, frecuencia y modo de transporte utilizado, previo al Covid-19; también se consultó el tiempo de espera promedio al usar bus, dado que era un insumo para el experimento de preferencias declaradas que se presentaba en la cuarta sección. Por último, en la quinta sección se presentaban 10 afirmaciones asociadas a la independencia, tanto tecnológica como de movilidad (ver Tabla 4), que debían ser contestadas utilizando una escala Likert de cinco puntos (desde “completamente de acuerdo” a “completamente en desacuerdo”). Estas afirmaciones también fueron validadas previamente en la encuesta piloto. Las respuestas Likert a estas afirmaciones se incluyeron como indicadores asociados a la construcción de variables latentes.

La encuesta de preferencias declaradas proponía seis escenarios de elección (ver Figura 1) en que iban variando los atributos del experimento, vale decir, los tres elementos de diseño universal y el tiempo de espera. En cada escenario de elección el encuestado debía elegir entre dos alternativas de bus que consideraban distintas combinaciones de los tres elementos y el tiempo de espera, de acuerdo a un diseño experimental eficiente, como se describe más adelante.

Es interesante destacar que el ejercicio daba la posibilidad que los individuos respondieran que ambas alternativas les parecían igualmente atractivas (Cantillo et al., 2010; Bahamonde-Birke et al., 2017b), y también que ninguna les pareciera aceptable (Olsen & Swait, 1998). Esto se hizo con el fin de evitar los problemas asociados a encuestas que obligan a los encuestados a elegir una alternativa, aunque ninguna les parezca razonable, gatillando un comportamiento diferente y, por ende, potencialmente sesgando los resultados (Ortúzar y Willumsen, 2024, Cap. 2).

## 2.5 Diseño Experimental

Aunque las alternativas presentadas (buses con diferentes atributos) tienen la misma función de utilidad (no son ‘etiquetadas’), inicialmente se incluyó una constante específica en la alternativa de la izquierda, para capturar el potencial efecto de la posición de ambas, pero esta no resultó estadísticamente significativa.

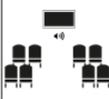
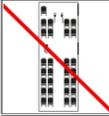
---

<sup>†</sup> <https://www.washingtongroupdisability.com/>

**Tabla 4** Indicadores utilizados para las variables latentes

Indicador	Afirmación
1	Soy capaz de acceder y hacer uso de redes sociales, como Facebook y Twitter, o Whatsapp
2	Soy capaz de desplazarme a través de las distintas calles y veredas de Santiago
3	No tengo problemas en redactar y enviar e-mails, adjuntar archivos y leer el contenido de los mensajes en la bandeja de entrada
4	Soy capaz de desplazarme usando transporte público en Santiago
5	Utilizo normalmente aplicaciones móviles para reproducir contenido multimedia como Spotify, YouTube, Netflix
6	No tengo problemas en concurrir al supermercado y realizar las compras del hogar
7	Soy capaz de diseñar el recorrido, o bien conocer el tiempo de llegada del próximo bus, mediante aplicaciones como Google Maps, Lazarillo y Waze, entre otras
8	No tengo problemas en asistir y atenderme en centros asistenciales como CESFAM, SAPU, Clínicas u Hospitales
9	Soy capaz de obtener salvoconducto y/o permiso de desplazamiento desde la página web correspondiente
10	Soy capaz de pagar en línea los servicios básicos del hogar, como luz, agua, teléfono, etc.

Pregunta 1 de 6 ...

Alternativa A	Alternativa B
 <p>Información audiovisual al interior del bus: <i>Con información audiovisual</i></p>	 <p>Información audiovisual al interior del bus: <i>Sin información audiovisual</i></p>
 <p>Información auditiva al exterior del bus: <i>Con información auditiva</i></p>	 <p>Información auditiva al exterior del bus: <i>Sin información auditiva</i></p>
 <p>Estandarización de elementos en el bus: <i>Bus no estandarizado</i></p>	 <p>Estandarización de elementos en el bus: <i>Bus estandarizado</i></p>
 <p>Tiempo de espera del bus: 16 minutos</p>	 <p>Tiempo de espera del bus: 8 minutos</p>

De los buses presentados anteriormente, ¿Cuál escogería?

**Figura 1** Flujo de saturación de pasajeros en función del ancho de puertas

Con ello, la función de utilidad representativa utilizada en el diseño experimental finalmente tomó la siguiente forma:

$$V_{iq} = \beta_{AI} * AI_i + \beta_{AE} * AE_i + \beta_{BE} * BE_i + \beta_{TE} * TE_i \quad (3)$$

en que *AI* es información audiovisual al interior del bus, *AE* es información auditiva exterior, *BE* corresponde a un bus estandarizado y *TE*, el tiempo de espera; los parámetros  $\beta$  deben ser estimados.

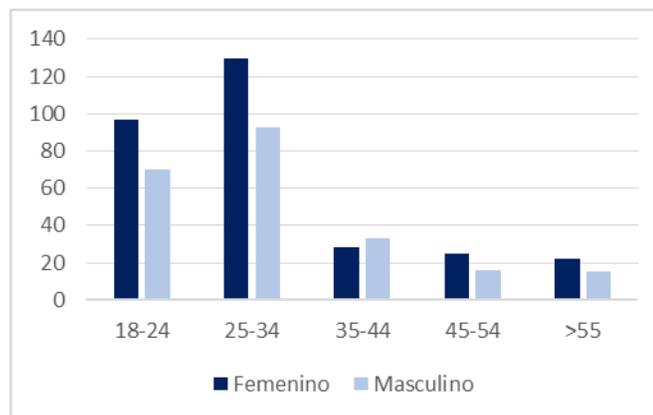
El diseño, eficiente, de la encuesta de preferencias declaradas se realizó mediante el software NGENE (ChoiceMetrics, 2024), utilizando como priors a los parámetros estimados en la encuesta piloto (ésta, a su vez, había utilizado un diseño ortogonal más tradicional). El diseño consideró dos bloques, cada uno con seis escenarios de elección, para reducir la fatiga del encuestado. En la Tabla 5 se describe cada uno de los elementos y se presentan sus niveles de variación.

**Tabla 5** Elementos utilizados en los escenarios de elección

Parámetro	Atributo	Naturaleza	Significado	Signo Esperado
$AI_i$	Información audiovisual Interior	Binaria	Toma el valor 1 ante la presencia de información audiovisual al interior del bus, 0 en otro caso	Positivo
$AE_i$	Información auditiva exterior	Binaria	Toma el valor 1 ante la presencia de información auditiva al exterior del bus, 0 en otro caso	Positivo
$BE_i$	Bus estandarizado	Binaria	Toma el valor 1 ante la presencia de un bus con sus elementos estandarizados, 0 en otro caso	Positivo
$TE_i$	Tiempo de espera	Entera	Puede tomar tres valores, que fueron asignados según el bloque de tiempo correspondiente al tiempo de espera declarado inicialmente	Negativo

### 3. RESULTADOS

La encuesta fue respondida por 529 personas, donde el 57% (302 respuestas) eran mujeres. La edad promedio de la muestra (ver Figura 2) es aproximadamente 32 años, y el rango de mayor participación es entre 25 y 34 años.



**Figura 2** Distribución de género por edad

La Tabla 6 muestra que el bloque de ingresos del hogar entre 750.000 y 1.000.000 de pesos chilenos (\$) por mes, fue el que tuvo mayor representación en la muestra. Por otro lado, la Tabla 7 muestra la distribución de los encuestados en cuanto a dificultades presentadas.

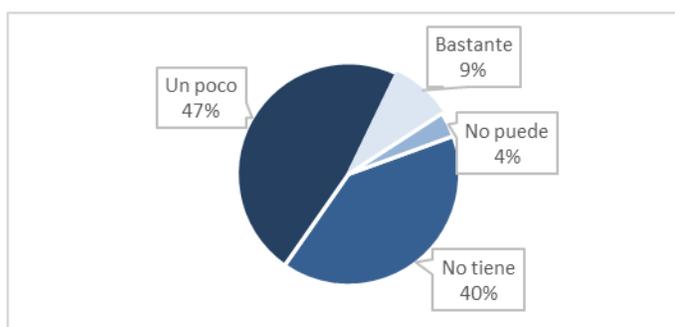
**Tabla 6** Distribución de ingreso de la muestra

Categoría	Cantidad	Porcentaje (%)
Menos de \$250.000	24	5
Entre \$250.000 y \$500.000	70	13
Entre \$500.001 y \$750.000	76	14
Entre \$750.001 y \$1.000.000	95	18
Entre \$1.000.001 y USD\$1.500.000	83	16
Entre \$1.500.001 y USD\$2.000.000	65	12
Más de \$2.000.000	85	16
No sabe / Prefiero no responder	31	6

**Tabla 7** Dificultades reportadas en la muestra

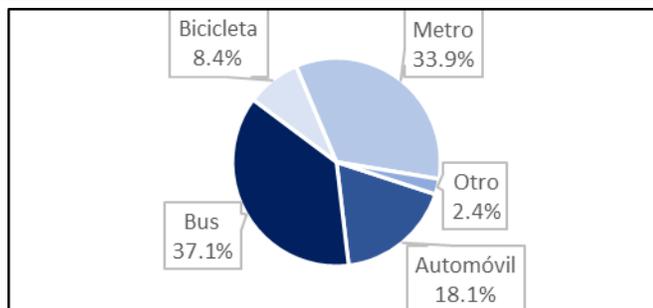
Dificultad	No tiene	Un poco	Bastante	No puede
Visión	213	251	46	19
Audición	521	5	2	1
Desplazamiento en calles y usar transporte público	474	46	6	3
Comunicación oral	515	13	1	-
Recordar y/o concentrarse	380	138	11	-
Bañarse y/o vestirse	519	10	-	-

Lógicamente, dada la forma como se difundió la encuesta, la mayor representación la tienen las personas con dificultad visual. De este grupo, 9% eran personas con baja visión y 4% personas ciegas, mientras que un porcentaje no menor de la muestra (47%), hacía uso regular de anteojos (ver Figura 3).



**Figura 3** Distribución de la muestra según su dificultad en cuanto a visión

La Figura 4 muestra que cerca del 37% de los encuestados indicó utilizar regularmente bus para movilizarse; esto, sumado al casi 34% en Metro indica un uso mayoritario del transporte público (lo que es lógico, dado como se difundió la encuesta).



**Figura 4** Modo de transporte principal de los encuestados

### 3.1 Corrección de la Muestra

A fin de representar adecuadamente a la población de la Región Metropolitana de Chile, se corrigió los datos de la muestra tomando en consideración tres aspectos: (i) edad; (ii) género, e (iii) ingreso del hogar. Para los dos primero se utilizó el Censo de Población y Vivienda de 2017<sup>‡</sup>, mientras que para el ingreso se utilizó la Encuesta CASEN 2017 (Observatorio Social, 2017). Con esto se calculó factores de corrección para cada aspecto y se aplicó el método de Furness (Ortúzar y Willumsen, 2024, Cap. 5) obteniendo ponderadores para cada individuo en base a sus características<sup>§</sup>.

### 3.2 Resultados de la Modelación

Del total de observaciones ( $529 \times 6 = 3.174$ ) se eliminó 37, que respondieron que no les gustaba ninguna de las alternativas presentadas. Por otro lado, hubo 134 observaciones que declararon tener igual preferencia por ambas alternativas; éstas se trataron siguiendo la metodología propuesta por Bahamonde-Birke et al. (2017b); esto es, cada respuesta se subdividió en 50% de preferencia por la alternativa A y 50% de preferencia por la alternativa B. Posteriormente, este peso de 50%, se ponderó junto con el factor de corrección de la muestra, dejando un ponderador único para cada observación.

Con estos datos, y utilizando el software Apollo (Hess & Palma, 2019), se estimó una serie de modelos diferentes: (i) un modelo Logit Mixto (ML) incluyendo un componente de error para el efecto pseudo panel inherente a los datos de preferencias declaradas, (ii) otro ML, similar, pero que además consideraba potenciales variaciones sistemáticas de gusto - VSG (Ortúzar y Willumsen, 2024, p. 290) en función de las características individuales de cada encuestado, (iii) un modelo ML con parámetros aleatorios y VSG (ML-RP), y (iv) un modelo híbrido de elección discreta (HDC), basado en el anterior, pero que también incluía dos variables latentes.

<sup>‡</sup> <http://resultados.censo2017.cl/>

<sup>§</sup> Cabe notar que al comparar los resultados de estimar modelos con los datos originales y corregidos, se encontró variaciones menores al 7%.

Al comparar estos modelos, se concluyó que el ML con VSG era superior al ML simple, pero que ambos eran inferiores al ML-RP con parámetros aleatorios (Cabello, 2022). Así, en lo que sigue nos referiremos solamente al modelo ML-RP y al modelo HDC.

### 3.2.1 Modelo ML-RP

La función de utilidad especificada en este caso fue la siguiente:

$$V_{iq} = (\beta_{AI} + \beta_{AI}^{DV} * DV_q + \beta_{AI}^{SA} * SA_q + \beta_{AI}^{DF} * DF_q) * AI_i + (\beta_{AE} + \beta_{AE}^M * M_q + \beta_{AE}^{SA} * SA_q + \beta_{AE}^{DV} * DV_q + \beta_{AE}^{TR} * TR_q) * AE_i + \widetilde{\beta}_{BE} * BE_i + (\widetilde{\beta}_{TE} + \beta_{TE}^M * M_q + \beta_{TE}^{DV} * DV_q + \beta_{TE}^{TR} * TR_q) * TE_i + \omega_{iq} \quad (4)$$

donde  $AI$  es la información audiovisual al interior,  $AE$  la información auditiva al exterior,  $BE$  que se trata de un bus estandarizado,  $TE$  el tiempo de espera y  $\omega$  el componente de error para tratar el efecto pseudo-panel.

Los parámetros  $\underline{\beta}$  deben ser estimados; notar que los correspondientes a la estandarización de elementos al interior del bus ( $BE$ ) y al tiempo de espera ( $TE$ ) se consideraron aleatorios con una distribución Normal (los restantes no tuvieron una variabilidad significativa más allá de las VSG). Por último, las cinco variaciones de gusto especificadas se describen en la Tabla 8.

Al estimar el modelo se observó que las desviaciones estándar estimadas para ambos parámetros aleatorios eran altas (casi 50% de la media), sugiriendo que una porción significativa de la muestra podría tener signo contrario a lo esperado. Ante esto, se decidió analizar los parámetros individuales bajo una estimación Bayesiana, a fin de verificar la potencial existencia de *outliers* (Sillano y Ortúzar, 2005). Este proceso, que se explica en el Apéndice 1, llevó a detectar once *outliers* que fueron eliminados del banco de datos.

**Tabla 8** Variaciones sistemáticas de gusto especificadas

Variable	Nombre	Descripción	Naturaleza
$M_q$	Mujer	Género es femenino	Binaria
$SA_q$	Sin Automóvil	No posee vehículo en el hogar	Binaria
$DF_q$	Discapacidad Física	Posee discapacidad física según perfil de salud	Binaria
$DV_q$	Discapacidad Visual	Posee discapacidad visual según perfil de salud	Binaria
$TR_q$	Trabajador	Está actualmente trabajando	Binaria

El mejor modelo estimado con los datos corregidos se presenta en la Tabla 9; la única diferencia con la especificación del modelo anterior (4) es que en la función de utilidad la VSG correspondiente a ser mujer en el atributo  $AI$  no resultó significativa. Como se puede ver, todos los parámetros tienen el signo esperado y son significativos al 95% de confianza, confirmando la existencia de aleatoriedad, más allá de las VSG, en los parámetros de estandarización de buses y tiempo de espera.

**Tabla 9** Resultados Modelo ML-RP con variaciones sistemáticas de gusto

Descripción	Valor	Test-t
Información audiovisual al interior	1,171	9,82
Inf. audiovisual al interior & Discapacidad Visual	0,389	2,74
Inf. audiovisual al interior & Discapacidad Física	0,809	2,35
Inf. audiovisual al interior & Sin Auto	-0,461	-3,20
Información auditiva al exterior	0,740	5,91
Inf. auditiva al exterior & Mujer	0,251	2,05
Inf. auditiva al exterior & Discapacidad Visual	0,461	3,19
Inf. auditiva al exterior & Sin Auto	-0,29	-2,24
Inf. auditiva al exterior & Trabajador	0,216	1,97
Bus estandarizado (Media)	0,987	13,51
Desviación estándar de Bus estandarizado	0,478	4,66
Tiempo de Espera (Media)	-0,321	-11,11
Desviación estándar Tiempo de Espera	-0,156	-10,31
Tiempo de espera & Mujer	0,059	2,15
Tiempo de espera & Discapacidad Visual	0,124	3,53
Tiempo de espera & Trabajador	0,056	2,05
Efecto Panel	0,451	9,18
Log-verosimilitud final	-1.521,3	
Número de observaciones	3.162	

El análisis detallado de las VSG para cada elemento considerado, indica que tener discapacidad visual o física, aumenta el valor de la información audiovisual, a diferencia de la no tenencia de vehículo propio. En cuanto a la información auditiva, el ser mujer, trabajar y tener dificultad visual, aumentan el valor del elemento, en contraste con la no tenencia de vehículo propio. Por otro lado, en el caso del tiempo de espera, ser mujer, trabajar y tener discapacidad disminuyen su magnitud, vale decir, el tiempo de espera pasa a ser menos relevante al momento de elegir el bus. Adicionalmente, es interesante destacar que la dificultad visual estuvo presente como VSG de la mayoría de los elementos, lo que confirma las diferencias de percepción de los elementos de accesibilidad universal por parte de personas con este problema. Finalmente, al comparar los resultados de este modelo con el estimado para la muestra completa, es importante destacar que se logró una reducción en la desviación estándar de ambos parámetros aleatorios.

La Tabla 10 presenta los valores de los parámetros base de cada elemento de accesibilidad universal y del tiempo de espera. Adicionalmente, se muestra un intervalo de confianza, calculado según la ecuación (5) para los parámetros fijos (que distribuyen asintóticamente Normal), donde  $\bar{\beta}$  denota al parámetro fijo,  $Z_{\alpha/2}$  indica el valor crítico para un nivel de confianza y  $SE$  es el error estándar del parámetro. Cabe destacar, que el valor crítico utilizado fue 1,64, dado que se conoce *a priori* el signo del parámetro, por lo que se debe utilizar un test de una cara (Wellek, 2002).

$$\bar{\beta} \pm Z_{\alpha/2} * SE \tag{5}$$

Por otro lado, en el caso de los dos parámetros aleatorios el intervalo de confianza se calculó mediante la simulación de 10.000 instancias analizadas en búsqueda de *outliers* y/o datos con signo distinto a lo esperado, siguiendo a Espino et al. (2006). Luego, los puntos percentiles 0,025 y 0,975 permitieron determinar el intervalo de confianza para estos parámetros.

**Tabla 10** Parámetros base promedio de modelo ML-RP

Parámetro	Descripción	Valor	Intervalo de Confianza
$\beta_{AI}$	Información audiovisual al interior	1,171	[ 0,975; 1,367]
$\beta_{AE}$	Información auditiva al exterior	0,740	[ 0,534; 0,945]
$\widetilde{\beta}_{BE}$	Bus estandarizado	0,987	[ 0,049; 1,931]
$\widetilde{\beta}_{TE}$	Tiempo de espera	-0,321	[ -0,626; -0,013]

Los resultados, considerando todas las combinaciones de VSG, se encuentran en el Apéndice 2. El análisis de los parámetros permite ver que la variación entre el máximo y mínimo valor por elemento tuvo distintas magnitudes: por ejemplo, para la información audiovisual fue de 1,66, para la información auditiva 1,22 y para el tiempo de espera 0,24.

### 3.2.2 Modelo HDC con variables latentes

Una de las motivaciones de esta investigación, además de estimar los parámetros de los elementos de accesibilidad universal y tiempo de espera, era estudiar la relación entre la toma de decisiones de las personas y su nivel de independencia. Para esto se definieron variables latentes, que permitieran capturar aspectos del comportamiento que no pueden ser medidos directamente. Específicamente, este análisis se enfocó en la independencia de los individuos en dos aspectos: el uso de tecnologías y la movilización.

Para obtener los indicadores utilizados en la construcción de las variables latentes, se diseñó las 10 afirmaciones presentadas en la Tabla 4, que aludían a distintos aspectos de la independencia de las personas. Estas fueron respondidas por los encuestados según una Escala Likert de cinco niveles: “Muy en desacuerdo”, “En desacuerdo”, “Neutro”, “De acuerdo” y “Muy de acuerdo”. Para determinar la cantidad de variables latentes, primero se realizó un análisis factorial exploratorio mediante el uso de la librería *lavaan* de R (mayor detalle en el Apéndice 3). Este análisis dio como resultado dos variables latentes, explicadas por siete de las 10 oraciones mostradas en la Tabla 4; las afirmaciones 1, 3 y 5 explicando la *Independencia Tecnológica*, y las afirmaciones 4, 6, 8 y 10 la *Independencia de Movilidad*. Luego, se realizó un análisis factorial confirmatorio para comprobar los resultados obtenidos *a priori*, y tener una base para la ecuación estructural.

El modelo HDC también utilizó como base los datos sin *outliers* e incorporó las dos variables latentes. Estas fueron explicadas por cinco características de los encuestados, como se muestra en la Figura 5, que presenta la estructura del modelo MIMIC (Bollen, 1989) estimado en forma conjunta con el modelo de elección en este caso. La función de utilidad del modelo HDC tuvo una forma similar a la del modelo ML-RP, pero incluyó las variables latentes, que se hicieron interactuar con la información audiovisual al interior del bus e información auditiva al exterior del bus (en el caso de la *independencia tecnológica*), y con el tiempo de espera (en el caso de la *independencia de movilidad*). Así la utilidad quedó finalmente definida por la ecuación (6):

$$\begin{aligned}
 V_{iq} = & (\beta_{AI} + \beta_{AI}^{DV} * DV_q + \beta_{AI}^{SA} * SA_q + \beta_{AI}^{DF} * DF_q + \beta_{AI}^{\eta_{IT}} * \eta_{IT}) * AI_i + (\beta_{AE} + \beta_{AE}^M * M_q \\
 & + \beta_{AE}^{SA} * SA_q + \beta_{AE}^{DV} * DV_q + \beta_{AE}^{TR} * TR_q + \beta_{AE}^{\eta_{IT}} * \eta_{IT}) * AE_i + \beta_{BE} * BE_i \\
 & + (\beta_{TE} + \beta_{TE}^M * M_q + \beta_{TE}^{DV} * DV_q + \beta_{TE}^{TR} * TR_q + \beta_{TE}^{\eta_{IM}} * \eta_{IM}) * TE_i + \omega_{iq}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

donde  $\eta_{IT}$  y  $\eta_{IM}$  corresponden a la independencia tecnológica y de movilidad respectivamente.

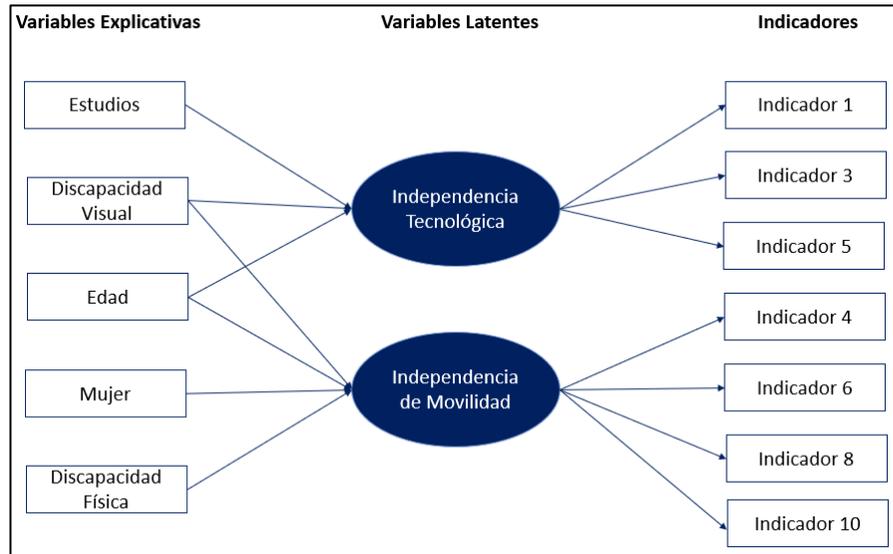


Figura 5 Estructura del modelo MIMIC

La Tabla 11 muestra los resultados del modelo HDC. Todos los parámetros tienen nuevamente signo correcto y son estadísticamente significativos al 95% de confianza. Además, todas las VSG tienen signo positivo (exceptuando, igual que antes, la de personas sin auto). Para obtener intervalos de confianza de los parámetros, se procedió igual que en el caso anterior. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

En cuanto a las variables latentes, es posible apreciar que tanto la *independencia tecnológica* como de *movilidad*, toman signo negativo al interactuar con los distintos elementos. Una explicación de estos signos se puede encontrar en los resultados de las ecuaciones estructurales asociadas al modelo MIMIC, que explican estas variables latentes (ver Tabla 13). Por ejemplo, para el caso de la *independencia tecnológica*, a menor edad, mayor nivel de estudios y ausencia de discapacidad visual, se tiene mayor independencia, por lo que no se requieren elementos de accesibilidad universal para mejorar la información del recorrido; esto contrasta con los casos donde sí existe una brecha tecnológica y no se cuenta con los mismos recursos y/o habilidades.

Por otro lado, en el caso de la *independencia de movilidad*, se observa que al tener menor edad y no poseer alguna discapacidad física o visual, se tiene obviamente mayor independencia; caso contrario ocurre con las mujeres, por ejemplo, quienes tienen un mayor índice de independencia de movilidad. Esto se puede deber al motivo de sus viajes, que suele relacionarse con viajes de cuidado (Zamorano, 2021), que eran justamente los descritos en los indicadores asociados a esta variable latente.

**Tabla 11** Resultados modelo HDC con variables latentes

Descripción	Valor	Test-t
Información audiovisual al interior	0,991	8,29
Inf. audiovisual al interior & Discapacidad Visual	0,364	2,81
Inf. audiovisual al interior & Discapacidad Física	0,503	2,05
Inf. audiovisual al interior & Sin Auto	-0,459	-3,37
Inf. audiovisual al interior & Independencia Tecnológica	-0,054	-4,32
Información auditiva al exterior	0,705	6,82
Inf. auditiva al exterior & Mujer	0,221	2,20
Inf. auditiva al exterior & Discapacidad Visual	0,497	3,84
Inf. auditiva al exterior & Sin Auto	-0,335	-2,79
Inf. auditiva al exterior & Trabajador	0,228	2,40
Inf. auditiva al exterior & Independencia Tecnológica	-0,067	-4,89
Bus estandarizado (Media)	0,930	14,27
Desviación estándar de Bus estandarizado	0,377	4,21
Tiempo de Espera (Media)	-0,328	-13,26
Desviación estándar Tiempo de Espera	0,157	11,03
Tiempo de espera & Mujer	0,080	3,63
Tiempo de espera & Discapacidad Visual	0,067	2,04
Tiempo de espera & Trabajador	0,059	2,76
Tiempo de espera & Independencia de Movilidad	-0,244	-3,43
Efecto Panel	0,343	7,34
Log-verosimilitud final	-1.545,3	
Log-verosimilitud final –modelo de elección	-1.499,1	
Número de observaciones	3.162	

**Tabla 12** Parámetros base promedio de modelo HDC

Parámetro	Descripción	Valor	Intervalo de Confianza
$\beta_{AI}$	Información audiovisual al interior	0,991	[ 0,795; 1,187]
$\beta_{AE}$	Información auditiva al exterior	0,705	[ 0,535; 0,875]
$\beta_{BE}$	Bus estandarizado	0,930	[ 0,196; 1,652]
$\beta_{TE}$	Tiempo de espera	-0,328	[ -0,641; -0,020]

### 3.2.3 Comparación de modelos

Apollo entrega el valor de la función de log-verosimilitud en convergencia para el modelo completo y también la del modelo de elección solamente. Para hacer la prueba de razón de verosimilitud (LR) entre el modelo HDC y el modelo ML-RP, ya que son modelos anidados (Ortúzar y Willumsen, 2024, Sección 8.4.1.2), es necesario considerar la log-verosimilitud del modelo de elección, que se encuentra disponible al final de la Tabla 11.

**Tabla 13** Resultados de las ecuaciones estructurales

Variable Latente	Parámetro	Descripción	Valor	Test t
Independencia Tecnológica	$\alpha_{ET}$	Edad	-0,022	-12,42
	$\alpha_{DVI}$	Dificultad Visual	-0,108	-1,97
	$\alpha_{ES}$	Estudios	0,457	10,89
Independencia de Movilidad	$\alpha_{EM}$	Edad	-0,009	-5,54
	$\alpha_{DF}$	Discapacidad Física	-1,029	-6,8
	$\alpha_M$	Mujer	0,241	3,25
	$\alpha_{DVM}$	Dificultad Visual	-0,830	-7,96

Al existir tres grados de libertad (número de restricciones lineales para pasar del modelo HDC al modelo ML-RP), para una significancia de 0,05, el valor crítico de  $\chi^2$  es 7,82. Como este valor es menor que el valor de la prueba LR ( $-2(-1.521,3+1,499,1) = 44,4$ ), se puede concluir que el modelo HDC es superior al modelo ML-RP. Este resultado era esperable ya que el modelo HDC contiene tres variables adicionales significativas.

### 3.2.4 Valoración de atributos

Para concluir la sección de resultados, a continuación calcularemos la tasa de sustitución - en minutos - de cada elemento; esto es, cuanto tiempo adicional estarían dispuestas a esperar las personas para acceder a un bus con elementos de accesibilidad universal. Posteriormente, y para lograr una aproximación al *valor social* de cada elemento, aplicaremos la metodología propuesta recientemente, por Peña et al. (2018). Esta consiste en ponderar la tasa de sustitución anterior por el valor social del tiempo de espera. Realizaremos este análisis solamente para el mejor modelo, estimado, es decir, el Modelo HDC.

En la Tabla 14 se presenta el cálculo de la tasa de sustitución para los parámetros base (esto es, sin considerar las VSG) de cada elemento de accesibilidad universal, incluyendo tanto sus valores puntuales como los respectivos intervalos de confianza.

**Tabla 14** Tasa de sustitución – parámetros base del modelo HDC

Elemento	Valor puntual (min)	Intervalo de confianza (min)
Información audiovisual al interior del bus	3,02	[2,20; 4,23]
Información auditiva al exterior del bus	2,15	[1,49; 3,07]
Estandarización del bus	2,84	[0,51; 5,08]

El cálculo de intervalos de confianza depende de si los parámetros son fijos o aleatorios. Para los primeros, se utilizó el método propuesto por Armstrong et al. (2001), donde el intervalo de confianza está dado por la ecuación (7):

$$\left(\frac{\beta_e * t_t}{\beta_t * t_e}\right) * \left(\frac{t_t t_e - \rho t^2}{t_t^2 - t^2}\right) \pm \left(\frac{\beta_e * t_t}{\beta_t * t_e}\right) * \frac{\sqrt{(\rho t^2 - t_e t_t)^2 - (t_e^2 - t^2)(t_t^2 - t^2)}}{t_t^2 - t^2} \quad (7)$$

donde el subíndice e corresponde al elemento, el subíndice t al tiempo de espera,  $te$  y  $tt$  a los test t del elemento y tiempo de espera respectivamente,  $t$  al valor crítico del estadígrafo (en este caso, 1,96 al 95% de confianza), y  $\rho$  al coeficiente de correlación de ambos parámetros.

En el caso de los parámetros aleatorios, en cambio, se simuló 10.000 instancias dividiendo el valor obtenido en cada una de ellas por la media del tiempo de espera, y luego se extrajo el percentil 95%, de acuerdo a la metodología de Espino et al. (2006).

Los resultados muestran que el tiempo que las personas están dispuestas a esperar, en promedio, por acceder a los elementos de accesibilidad universal, oscila entre 2,15 y 3,02 min. Para estimar una aproximación a su potencial valor social, se ponderó estos tiempos por el valor social del tiempo de espera en Chile, correspondiente a \$4.867 por hora (MDSF, 2021). Esto entrega valores promedio entre \$174 y \$ 245 por elemento, y la información audiovisual al interior del bus es el elemento más valorado.

Un resultado más interesante se obtiene al analizar las Tablas 15 y 16, que muestran los valores (en minutos de tiempo de espera) de las variables afectadas por variaciones sistemáticas de gustos que revelan la heterogeneidad en la valoración de elementos.

**Tabla 15** Valoración información audiovisual al interior del bus

¿Dificultad visual?	¿Discapacidad física?	¿Auto en el hogar?	Valoración (min)
Sí	Sí	Sí	5,66
Sí	Sí	No	4,27
Sí	No	Sí	4,13
Sí	No	No	2,73
No	Sí	Sí	4,55
No	Sí	No	3,16
No	No	Sí	3,02
No	No	No	1,62

- *Información audiovisual al interior del bus:* Para este elemento se obtuvo ocho valores. La mínima disposición a esperar corresponde a 1,62 min, en el caso de personas sin discapacidad física ni visual, y que no tienen vehículo en su hogar. Por otro lado, las personas con discapacidad visual y física, que poseen auto en su hogar, tienen mayor disposición a esperar, con una tasa de sustitución de 5,66 min. Este resultado implica una variación de 4,04 min, lo que monetariamente implicaría una diferencia de \$328. En el caso particular de personas con discapacidad visual, la disposición a esperar por este elemento aumenta el parámetro base en 1,11 min, lo que monetariamente se traduciría en \$88.
- *Información auditiva al exterior del bus:* A diferencia del elemento anterior, acá es posible calcular 17 valores. El perfil de personas con mayor disposición a esperar corresponde a mujeres con dificultad visual, que trabajan y tienen vehículo en su hogar, con una tasa de sustitución de 5,03 min; es decir, un 346% más alto que los hombres sin dificultad visual, que no trabajan ni poseen vehículo en su hogar. Esta variación implica una diferencia de 3,19 min, lo que monetariamente se reflejaría en \$320. En el caso particular de personas con dificultad visual, la disposición a esperar por este elemento se eleva en 1,52 min, es decir, en una disposición al pago adicional de \$120.

**Tabla 16** Valoración información auditiva al exterior del bus

¿Mujer?	¿Dificultad visual?	¿Auto en el hogar?	¿Trabajando?	Valoración (min)
Sí	Sí	Sí	Sí	5,03
Sí	Sí	Sí	No	4,34
Sí	Sí	No	Sí	4,01
Sí	Sí	No	No	3,32
Sí	No	Sí	Sí	3,52
Sí	No	Sí	No	2,82
Sí	No	No	Sí	2,50
Sí	No	No	No	1,80
No	Sí	Sí	Sí	4,36
No	Sí	Sí	No	3,66
No	Sí	No	Sí	3,34
No	Sí	No	No	2,64
No	No	Sí	Sí	2,84
No	No	Sí	No	2,15
No	No	No	Sí	1,82
No	No	No	No	1,13

En el caso de las variables latentes, solo es posible valorizar la independencia tecnológica, dado que la independencia de movilidad interactúa con el tiempo de espera. De acuerdo a la Tabla 11, tanto la edad como la dificultad visual disminuyen la independencia y, por el contrario, tener estudios universitarios y/o postgrado aumentan su valor. Por esto, se decidió analizar dos casos:

- Caso 1 (más independiente tecnológicamente): Persona de 18 años, sin dificultad visual y que tiene estudios universitarios.
- Caso 2 (menos independiente tecnológicamente): Persona de 80 años, con dificultad visual y sin estudios.

Para ambos casos, y tanto para la información audiovisual al interior e información auditiva al exterior del bus, se calculó los parámetros asociados a sus características. Los resultados (Tabla 17) permiten apreciar las diferencias entre ambos casos; en particular, las personas con menor independencia tecnológica (Caso 2), valoran más la inclusión de elementos de accesibilidad universal que las personas más independientes (Caso 1), a quienes, de hecho, les significa una reducción en su utilidad.

**Tabla 17** Parámetros asociados a la independencia tecnológica

	Elemento	Parámetro
Caso 1	Información Audiovisual al interior del bus	-0,003
	Información Auditiva al exterior del bus	-0,004
Caso 2	Información Audiovisual al interior del bus	0,101
	Información Auditiva al exterior del bus	0,125

Con esto se pueden calcular las tasas de sustitución para cada elemento, considerando las variaciones entre el Caso 1 y el Caso 2, para posteriormente valorizarlas. De esta forma, la

---

valorización en términos de tiempo de espera de la información audiovisual al interior del bus (Caso 1 – Caso 2), sería  $-0,317 (= -0,003 - 0,101)/-0,328$ ) y para la información auditiva al exterior del bus sería  $-0,393$ .

Si bien existen pequeñas variaciones entre ambos elementos, las personas con mayor independencia tecnológica estarían dispuestas a esperar menos tiempo que las otras, y la información auditiva al exterior del bus es el elemento con mayor brecha en este sentido.

#### 4. CONCLUSIONES

Se valoraron tres elementos de accesibilidad universal que podrían mejorar la experiencia de personas con dificultad visual al interior de buses: (i) información audiovisual al interior del bus, (ii) información auditiva al exterior del bus y (iii) estandarización de los elementos al interior del material rodante. Estos elementos fueron propuestos tras una amplia revisión bibliográfica, entrevistas a expertos y grupos focales incluyendo personas con dificultad visual. Además, se incluyó dos variables latentes: *independencia tecnológica* e *independencia de movilidad*, que buscaban caracterizar más profundamente a las personas y, mejorar el entendimiento sobre cuál podría ser su disposición al pago por los elementos ya mencionados.

Se diseñó una encuesta de preferencias declaradas con el apoyo de instituciones que trabajan con personas con dificultad visual. Su principal foco estuvo en la creación de escenarios hipotéticos en que los encuestados debían elegir entre dos buses que diferían solo en cuanto a los elementos de accesibilidad universal y al tiempo de espera asociado. El instrumento también permitía manifestar indiferencia entre ambas alternativas, o declarar que ninguna parecía aceptable. Con los datos de la encuesta se formuló y estimó varios modelos de elección discreta. La especificación con mejor ajuste fue un modelo híbrido que incorporaba las dos variables latentes consideradas. Sus resultados permitieron determinar que el elemento más valorado por los encuestados (en términos de minutos de tiempo de espera) era la presencia de información audiovisual al interior del bus, seguido por la estandarización de elementos al interior del bus y, por último, la información auditiva al exterior del bus. Por otro lado, el mejor modelo también permitió detectar la presencia de fuerte heterogeneidad en las respuestas de los encuestados, cuya valoración dependía de factores socioeconómicos y de cuán independiente era la persona, tanto en términos tecnológicos como de movilidad.

Analizando las variaciones interpersonales, se pudo concluir que existen factores que aumentan la disposición a esperar por un bus más apropiado, como tener dificultad visual, ser mujer, trabajador y/o tener discapacidad física. Por otro lado, no tener auto en el hogar es un aspecto que disminuye el tiempo que las personas están dispuestas a esperar.

En el caso de las variables latentes, la *independencia de movilidad* solo resultó significativa al interactuar con el tiempo de espera; es decir, la variable utilizada para estimar la valoración de cada elemento. Dado lo anterior, solo fue posible realizar el análisis para la *independencia tecnológica*, en relación a dos casos límite: una persona tecnológicamente independiente y otra no. Esto permitió confirmar que las personas menos independientes estarían dispuestas a pagar más por la inclusión de información auditiva al exterior e información audiovisual al interior del bus.

En base a los resultados expuestos, se puede concluir que, de acuerdo a los modelos estimados, existen considerables diferencias en la valorización de elementos de accesibilidad entre personas con y sin dificultad visual y, más aún, entre personas más y menos independientes desde el punto de vista tecnológico. Esto puede ser importante al momento de analizar futuras políticas públicas relacionadas con la disponibilidad de información en buses, y con la infraestructura al interior de estos.

Además de generar valorizaciones para futuras políticas públicas, esta investigación logró desarrollar un instrumento de medición, a través de la plataforma Qualtrics, que posibilita seguir desarrollando investigaciones útiles para la población con dificultad visual, así como también, volver a investigar casos en que no se contaba con las herramientas adecuadas para incorporar al estudio a personas con este problema.

Finalmente, dentro de las limitaciones del estudio, se encuentran:

- (i) los resultados no son necesariamente replicables en otras partes, dado que las condiciones de Santiago son muy favorables en cuanto al desarrollo de una flota de buses accesible;
- (ii) existen más elementos que podría haber sido interesante analizar, pero no se incluyeron a fin de reducir la fatiga de los encuestados;
- (iii) dadas las restricciones sanitarias ocasionadas por la pandemia, fue necesario realizar la mayor parte de la difusión de la encuesta en forma virtual; esto resultó en una baja participación de personas mayores a 55 años.

Futuras líneas de trabajo incluyen, primero, realizar estudios similares en otras ciudades del país, donde la realidad de accesibilidad sea distinta a la de Santiago y donde los elementos a analizar posiblemente también sean distintos a los de este estudio. También sería interesante analizar la toma de decisiones de personas con discapacidad frente a otros modos, como Taxi Colectivo, Metro o Tren, con miras a obtener una ruta accesible a lo largo del sistema de transporte público completo; esto es, una ruta apta para cualquier persona. Por último, también se podrían realizar estudios similares, para personas con otros tipos de discapacidad (sordera, discapacidad cognitiva, movilidad).

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Fundación Luz, creadores de Lazarillo, y a PIANE UC por su apoyo en diseñar una encuesta adaptada a las barreras tecnológicas que enfrentan las personas con dificultad visual y en la difusión del instrumento. También se agradece al Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI) por su apoyo mediante el grant ANID PIA/PUENTE AFB230002, y al Centro de Excelencia BRT+ financiado por la Volvo Research and Educational Foundations.

## **REFERENCIAS**

Aarhaug, J. & Elvebakk, B. (2015). The impact of universally accessible public transport- a before and after study. *Transport Policy* **44**, 143–150.

- 
- Armstrong, P.M., Garrido, R.A. & Ortúzar, J. de D. (2001). Confidence intervals to bound the value of time. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* **37**, 143–161.
- Australian Transport Council (2006). *National Guidelines for Transport System Management in Australia*. Australian Transport Council, Barton.
- Bahamonde-Birke, F.J., Kunert, U., Link, H. & Ortúzar, J. de D. (2017a). About attitudes and perceptions – finding the proper way to consider latent variables in discrete choice models. *Transportation* **44**, 475–493.
- Bahamonde-Birke, F.J., Navarro, I. & Ortúzar, J. de D. (2017b). If you choose not to decide, you still have made a choice. *Journal of Choice Modelling* **22**, 13–23.
- Barnes, C. & Mercer, G. (2005). Disability, work, and welfare challenging the social exclusion of disabled people. *Work, Employment and Society* **19**, 527–545.
- Boadi-Kusi S.B., Amoako-Sakyi, R.O., Abraham, C.H., Addo, N.A., Aboagye-McCarthy, A. & Gyan, B.O. (2024). Access to public transport to persons with visual disability: a scoping review. *British Journal of Visual Impairment* **42**, 71–85.
- Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Cabello, N. (2022). *Discapacidad Visual en Buses de Santiago: Valorizando Elementos de un Diseño Universal*. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Cantillo, V., Amaya, J. & Ortúzar, J. de D. (2010). Thresholds and indifference in stated choice surveys. *Transportation Research Part B: Methodological* **44**, 753–763.
- Casey, H., Brady, N. & Guerin, S. (2013). ‘Is seeing perceiving?’ Exploring issues concerning access to public transport for people with sight loss. *British Journal of Visual Impairment* **31**, 217–227.
- Chapman, K., Ehrlich, C., O’Loughlen, J. & Kendall, E. (2024). The dignity experience of people with disability when using trains and buses in an Australian city. *Disability & Society* **39**, 2375–2399.
- ChoiceMetrics (2024). *Ngene 1.4 User Manual & Reference Guide*. ChoiceMetrics Pty, Sydney.
- Crudden, A., McDonnall, M. C. & Hierholzer, A. (2015). Transportation: an electronic survey of persons who are blind or have low vision. *Journal of Visual Impairment & Blindness* **109**, 445–456.
- DTPM (2020). *Informe de Gestión 2019*. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Santiago.
- Currie, G. & Wallis, I. (2008). Effective ways to grow urban bus markets—a synthesis of evidence. *Journal of Transport Geography* **16**, 419–429.
- Espino, R., Ortúzar, J. de D. & Román, C. (2006). Confidence interval for willingness-to-pay measures in mode choice models. *Networks and Spatial Economics* **6**, 81–96.
- Fearnley, N., Flügel, S. & Ramjerdi, F. (2011). Passengers’ valuations of universal design measures in public transport. *Research in Transportation Business & Management* **2**, 83–91.

- Guajardo, M.F. & Raveau, S. (2024). Entendiendo la elección modal de persona ciegas o con baja visión a través de variables latentes. *Estudios de Transporte* **25**, 16-27.
- Hess, S. & Palma, D. (2019). Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of Choice Modelling* **32**, 100170. doi.org/10.1016/j.jocm.2019.100170.
- Jones, C.G. (2002). A Delphi evaluation of agreement between organizations. En M. Turoff & H.A. Linstone (eds.), *The Delphi Method: Techniques and Applications*, 155–161, Addison-Wesley Publishing Co., New York.
- Levitas, R., Pantazis, C., Fahmy, E., Gordon, D., Lloyd, E. & Patsios, D. (2007). *The Multidimensional Analysis of Social Exclusion*. Department for Communities and Local Government (DCLG), Londres.
- Low, W.Y., Cao, M., de Vos, J. & Hickman, R. (2020). The journey experience of visually impaired people on public transport in London. *Transport Policy* **97**, 137-148.
- MDSF (2021). *Precios Sociales 2021*. Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Santiago.
- MTT (2020). *Cuenta Pública Participativa*. Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Santiago.
- Observatorio Social (2017). *Ingresos de los Hogares: Síntesis de Resultados*. Encuesta CASEN 2017, Ministerio de Desarrollo Social, Santiago.
- Olsen, G.D. & Swait, J.D. (1998). Nothing is important. Working Paper, Faculty of Management, University of Calgary.
- Ortúzar, J. de D. & Willumsen, L.G. (2024). *Modelling Transport*. 5a Edición, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Park, J. & Chowdhury, S. (2018). Investigating the barriers in a typical journey by public transport users with disabilities. *Journal of Transport & Health* **10**, 361-368.
- Peña, E., Galilea, P. & Raveau, S. (2018). How much do we value improvements on the accessibility to public transport for people with reduced mobility or disability? *Research in Transportation Economics* **69**, 445-452.
- Phanikumar, C.V. & Maitra, B. (2006). Valuing urban bus attributes: an experience in Kolkata. *Journal of Public Transportation* **9**, 69-87.
- Preston, J. & Raje, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography* **15**, 151-160.
- Priya, T. & Uteng, A. (2009). Dynamics of transport and social exclusion: effects of expensive driver's license. *Transport Policy* **16**, 130-139.
- Rosenbloom, S. (2007). Transportation patterns and problems of people with disabilities. En M.J. Field & A.M. Jette (eds.), *The Future of Disability in America*. National Academies Press, Washington, D.C.
- SENADIS (2016). *II Estudio Nacional de Discapacidad*. Servicio Nacional de la Discapacidad, Ministerio de Desarrollo Social, Santiago.

---

Sillano, M. & Ortúzar, J. de D. (2005). Willingness-to-pay estimation with mixed logit models: some new evidence. *Environment and Planning Part A: Economy and Space* **37**, 525 – 550.

Stephanidis, C. (2001). User interfaces for all: new perspectives into human-computer interaction. En C. Stephanidis (ed.), *User Interfaces for All-Concepts, Methods, and Tools*, 3-17. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ.

Wellek, S. (2002). *Testing Statistical Hypotheses of Equivalence*. Chapman & Hall, Nueva York.

Williams, H.C.W.L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. *Environment and Planning Part A: Economy and Space* **9**, 285–344.

Williams, H.C.W.L. & Ortúzar, J. de D. (1982). Behavioural theories of dispersion and the misspecification of travel demand models. *Transportation Research Part B: Methodological* **16**, 167-219.

Zamorano, D.N. (2021). *Construcción y Definición de Tipologías de Hogar y Patrones de Movilidad para Entender y Cuantificar la Movilidad del Cuidado desde una Perspectiva de Género*. Tesis de Magister en Ciencia de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

APÉNDICE 1: PARÁMETROS INDIVIDUALES PARA DETECTAR OUTLIERS

Al analizar los valores de los parámetros individuales correspondientes a la estandarización de elementos que se grafican en la Figura 1-1, se aprecian dos grupos de personas con comportamiento anómalo: quienes valoran mucho el elemento y quienes lo valoran muy poco. Al examinar el primer grupo se constató que correspondían a personas mayores de 50 años, que trabajaban y no tenían discapacidad alguna. Adicionalmente, estas personas siempre elegían el bus con más elementos de accesibilidad universal, independiente del tiempo que debían esperar, por lo que se podría pensar que se trata de individuos que eligen de forma altruista, es decir, que toman su decisión pensando en el potencial beneficio que la estandarización de buses podría tener para otras personas.

Por otro lado, quienes menos valoraban el elemento, eran jóvenes universitarios de entre 20 a 25 años, que siempre elegían el bus con menor tiempo de espera; esto podría corresponder a personas con comportamiento lexicográfico o que no consideraban uno o más atributos (Balbontín et al., 2017).

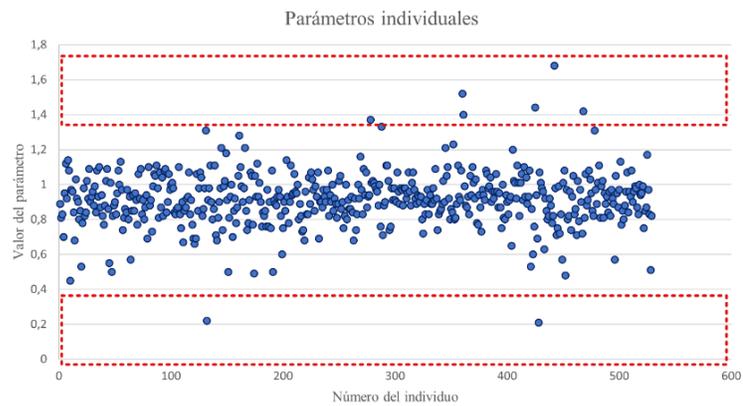


Figura 1-1 Parámetros individuales de la estandarización de elementos

En cuanto al tiempo de espera (Figura 1-2), sólo se observan comportamientos anómalos en cuanto a valores del tiempo positivo. Al examinar estos individuos, se constató que eran personas mayores de 40 años, que trabajaban y no tenían discapacidad; de hecho, la mayoría eran los mismos que tenían comportamiento potencialmente altruista en el caso anterior.

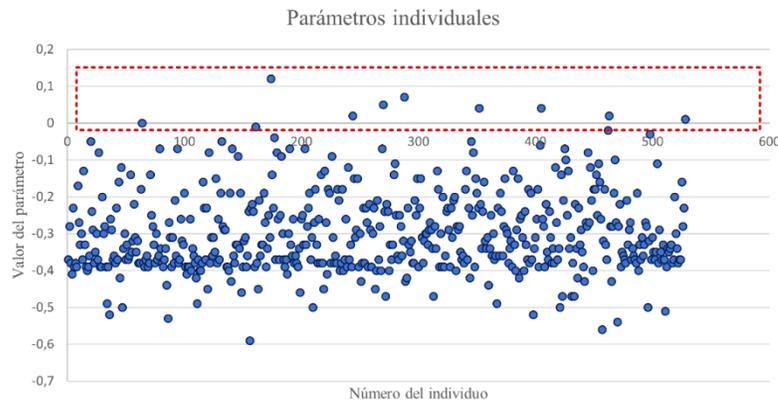


Figura 1-2 Parámetros individuales del tiempo de espera

**APÉNDICE 2: COMPARACIÓN DE VALORES PARÁMETROS MODELO ML-RP**

Género	Discapacidad Visual	Discapacidad Física	Sin Auto	Trabajador	Información Auditiva	Información Audiovisual	Estandarización Elementos	Tiempo de Espera		
Mujer	Sí	Sí	Sí	Sí	1,38	1,91	0,99	-0,08		
				No	1,16	1,91	0,99	-0,14		
			No	Sí	1,67	2,37	0,99	-0,08		
		No		1,45	2,37	0,99	-0,14			
		No	No	Sí	Sí	1,38	1,10	0,99	-0,08	
				No	No	1,16	1,10	0,99	-0,14	
	Sí			No	1,67	1,56	0,99	-0,08		
	No	No	Sí	Sí	Sí	0,92	1,52	0,99	-0,21	
					No	No	0,70	1,52	0,99	-0,26
				No	Sí	1,21	1,98	0,99	-0,21	
			No	No	Sí	No	0,99	1,98	0,99	-0,26
						Sí	Sí	0,92	0,71	0,99
					No	No	0,70	0,71	0,99	-0,26
	Hombre	Sí	Sí	Sí	Sí	1,13	1,91	0,99	-0,14	
					No	No	0,91	1,91	0,99	-0,20
				No	Sí	Sí	1,42	2,37	0,99	-0,14
Sí			No		No	1,20	2,37	0,99	-0,20	
			No		Sí	1,13	1,10	0,99	-0,14	
No			No	Sí	No	0,91	1,10	0,99	-0,20	
		Sí			Sí	1,42	1,56	0,99	-0,14	
		No		No	1,20	1,56	0,99	-0,20		
No		Sí	Sí	Sí	Sí	0,67	1,52	0,99	-0,27	
					No	No	0,45	1,52	0,99	-0,32
			No	Sí	Sí	Sí	0,96	1,98	0,99	-0,27
		No			No	0,74	1,98	0,99	-0,32	
		No		No	Sí	Sí	0,67	0,71	0,99	-0,27
			No			No	0,45	0,71	0,99	-0,32
No			Sí		Sí	0,96	1,17	0,99	-0,27	
				No	No	0,74	1,17	0,99	-0,32	

**Tabla 2-1** Comparación de parámetros modelo ML-RP

APÉNDICE 3: ANALISIS FACTORIAL EXPLORATORIO

Con las respuestas obtenidas para los indicadores de percepción según la escala Likert, se realizó un gráfico de correlación entre los 10 indicadores (que se muestra en la Figura 3-1) y un análisis de componentes principales. En base a esto se determinó que era posible formar dos variables latentes, dada la existencia de dos valores propios mayores a 1 (6,06 y 1,12).

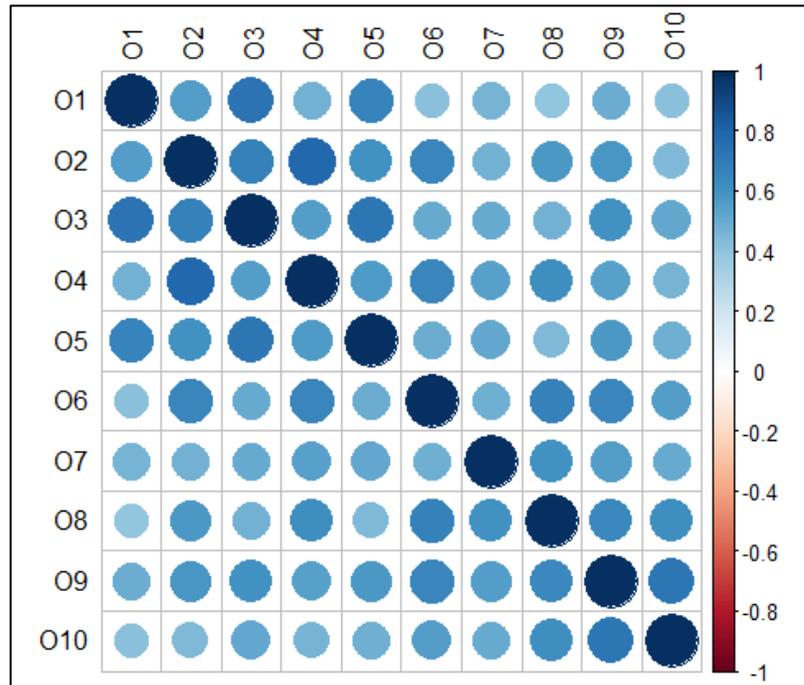


Figura 3-1 Correlación entre indicadores

Para este análisis se utilizó como método de ajuste la máxima verosimilitud y una rotación ortogonal a fin de minimizar el número de indicadores que tuvieran una alta incidencia sobre cada variable (lo que facilita la interpretación).

Se utilizó las afirmaciones que tuvieran un valor absoluto mayor a 0,6, lo que correspondió a la 1, 3 y 5 para la *independencia tecnológica* y a la 4, 6, 8 y 10 para la *independencia de movilidad*.