

**APRUEBA NUEVO PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE EVASIÓN Y DEJA SIN EFECTO RESOLUCIÓN EXENTA N°2981, DE 2017, DE LA SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES, SOBRE PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE ÍNDICE DE EVASIÓN.**

---

**VISTOS:** Lo dispuesto en el Decreto con Fuerza de Ley N°1-19.653 de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado; los Decretos con Fuerza de Ley N°343, de 1953 y N° 279, de 1960, ambos del Ministerio de Hacienda, relativos a la organización, obligaciones y atribuciones de la Subsecretaría de Transportes; el Decreto Ley N°557, de 1974, del Ministerio de Interior, que crea el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; el Decreto Supremo N° 32, de 2008, que delega facultades en el Subsecretario de Transportes, y en el Decreto Supremo N° 36, de 2022, que nombra Subsecretario de Transportes a don Cristóbal Felipe Pineda Andradez; la Ley N°18.059, que asigna al Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones el carácter de organismo rector nacional de tránsito y le señala atribuciones; en el Instructivo Presidencial N° 1, de 2003, que crea el Comité de Ministros para el Transporte Urbano de la ciudad de Santiago, modificado por el Instructivo Presidencial N° 2, de 16 de abril de 2013; la Resolución Exenta N°2981, de 2017, N°3362, de 2017 y N°507, de 2019, todas de la Subsecretaría de Transportes; las Condiciones Específicas de Operación y de Utilización de Vías para la prestación de Servicios de Transporte Público Urbano Remunerado de Pasajeros mediante buses, aprobadas por las Resoluciones Exentas N° 1218 y N° 1219, de 2015 y N° 1771, de 2019; por las Resoluciones N° 3 y N° 20, de 2020, y N° 21, de 2022, todas del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, y sus modificaciones; las Resoluciones Exentas N°s 1144, 1145, 1146, 1147, 1148 y 1149, todas de 2022, conjuntas del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Hacienda, que aprobaron los contratos de concesión derivados de la licitación LP CUV N°001/2019; las Resoluciones N°7 de 2019 y N°16 de 2020, de la Contraloría General de la República, que fijan normas sobre exención del trámite de toma de razón; y en la demás normativa que resulte aplicable.

**CONSIDERANDO:**

**1.** Que, mediante Resolución Exenta N°2981, de 18 de octubre de 2017, de la Subsecretaría de Transportes, se dejó constancia del procedimiento de medición del índice de evasión del Sistema de Transporte Público de la Provincia de Santiago y las comunas de San Bernardo y Puente Alto, que ha sido realizado hasta la fecha por el Programa Nacional de Fiscalización de Transportes.

**2.** Que, mediante Resolución Exenta N°3362, de 27 de noviembre de 2017, de la Subsecretaría de Transportes, fue modificada la resolución exenta señalada precedentemente, incorporándose a los procesos existentes las oportunidades en que se debe realizar la recolección de datos, la mantención de los mismos, estableciéndose controles, actividades responsables y plazos para la digitación, consolidación y construcción del Índice de Evasión.

**3.** Que, posteriormente, mediante Resolución Exenta N°507, de 22 de febrero de 2019, fue modificada la citada Resolución Exenta N°2981, de 2017, modificada a su vez por Resolución Exenta N°3362, de 2017, todas de la Subsecretaría de Transportes, en el sentido de aprobar una nueva versión del Anexo N°1 de la misma.

**4.** Que, en virtud de lo mencionado en los considerandos anteriores, el Programa Nacional de Fiscalización de Transportes cuenta desde el año 2013 con un procedimiento de medición del índice de evasión de pasajeros del Sistema de Transporte Público de la Provincia de Santiago y las comunas

de San Bernardo y Puente Alto, el cual ha sido objeto de las modificaciones indicadas precedentemente.

**5.** Que, la metodología aplicada a la fecha ha sido objeto de revisiones tanto por entidades públicas como privadas. En virtud de ello, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones ha efectuado revisiones detalladas de la metodología empleada, analizando las formas de estimación de los errores muestrales del procedimiento, las eventuales discrepancias entre la metodología vigente y el modelo efectivamente aplicado.

**6.** Que, en consecuencia, se llevó a cabo una mesa de expertos organizada por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, la cual tenía por objeto definir mejoras para la medición del indicador. En dicha oportunidad participó el Instituto Nacional de Estadísticas, institución que elaboró un diagnóstico de la metodología vigente, identificando las principales oportunidades de mejora a la misma, para lo cual realizó recomendaciones con la finalidad de que se efectuaran modificaciones, en particular, para la corrección de los procedimientos de estimación de error muestral.

**7.** Que, en virtud de lo dispuesto en los considerandos precedentes, se ha estimado necesario establecer un nuevo procedimiento de medición de la evasión, que mejore íntegramente la metodología vigente, y, consecuentemente, dejar sin efecto el "Procedimiento Medición del Índice de Evasión", aprobado por Resolución Exenta N°2981, de 2017, de la Subsecretaría de Transportes.

**8.** Que, además de su aplicabilidad a los servicios de transporte prestados en virtud de los instrumentos regulatorios actualmente vigentes en el Sistema, el nuevo procedimiento de medición de la evasión que por este acto se aprueba viene en reemplazar aquella metodología a la que se hace referencia en la cláusula 5.3.1.8.7, de los contratos de concesión de uso de vías, derivados de las Licitación Pública LP CUV N°001/2019.

## **RESUELVO:**

**1. APRUÉBASE** la "Metodología de Medición de Evasión en Buses", que a continuación se transcribe:

### **"METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE EVASIÓN EN BUSES**

#### *I. Objetivo y alcance*

*El objetivo del procedimiento es establecer un método de estimación de la tasa de evasión de pasajeros del Sistema de Transporte Público Metropolitano, asociada a etapas de viajes no validadas por los pasajeros de los servicios de buses, considerando en particular la validación a bordo de los buses. El procedimiento aborda los siguientes objetivos específicos:*

- Definir el marco muestral requerido (errores esperados, tamaños y criterios de asignación muestral) para la estimación semestral de la tasa de evasión de etapas de viajes a bordo de buses en cada Unidad de Negocios del Sistema y global.*
- Definir una metodología de recolección de información en terreno y un procedimiento para la construcción de los mencionados índices, estableciéndose las formas de cálculo de error correspondientes.*

*La estimación ha de realizarse tanto a nivel de Unidades de Negocio como general del Sistema, y el procedimiento ha de establecer un marco metodológico generalizable, es decir, utilizable en posteriores modificaciones del Sistema en términos de la composición de las Unidades de Negocio que lo conforman.*

*El procedimiento ha sido diseñado específicamente para el Sistema de buses del Sistema de Transporte Público de la ciudad de Santiago, según el tipo de operación observada en este Sistema integrado, que está basado en empresas operadoras privadas y servicios regulares regidos por planes operativos que son actualizados semestralmente<sup>1</sup>.*

*El universo que se considera como referencia en esta metodología corresponde a los servicios regulares de buses de cada Unidad de Negocio, para la operación diurna, acorde al plan operativo de cada semestre, incluyéndose también parte de los servicios especiales (expresos, cortos y variantes) en la medida que estos sean abordables dentro del mismo marco metodológico.*

## **1. Consideraciones generales**

### **1.1 Regularidad y distribución de la medición.**

*La medición para la elaboración del índice de evasión deberá realizarse con regularidad semestral, por lo que con este alcance se definirán los niveles de error esperados, tanto a nivel de Unidades de Negocio como global. Por su parte, se considerará una distribución de muestra que cubra los dos trimestres de cada semestre, de manera que la recolección de información se realice a lo largo de todo el año y que la muestra se distribuya mensualmente a lo largo de cada trimestre, como se hace actualmente.*

*Las mediciones se realizarán considerando ambos sentidos de viaje para cada servicio medido y el recorrido completo de cada expedición seleccionada, lo que permite captar la variabilidad del indicador a lo largo de los distintos paraderos del trazado. Por otro lado, la distribución de la muestra garantizará cobertura horaria a lo largo de todo el día, considerando para ello que se midan expediciones en los distintos tramos horarios del día.*

*El esquema de muestreo es bietápico estratificado, en que la unidad muestral primaria es un servicio específico de una unidad o estrato (conjuntos o subconjuntos de servicios) y la unidad muestral última es una expedición específica del servicio muestreado en la etapa previa. Cada semestre, en base al plan operativo correspondiente, deberán calcularse las muestras requeridas para la medición, identificándose la cantidad de expediciones a medir en cada servicio específicamente muestreado de cada Unidad de Negocio, para posteriormente repartirlas en los dos trimestres del semestre. Por su parte, cada vez que el Sistema sufra cambios relevantes -en cuanto a la conformación de las unidades de negocio- será necesario reestimar la composición de los segmentos o estratos, y, en consecuencia, también las muestras. Todas las indicaciones para ambas etapas se entregan en las siguientes secciones.*

### **1.2 Esquema de estimación muestral y representatividad.**

*El marco muestral es un esquema complejo, para el cual se presentan en forma detallada las formas de estimación de error y los procesos de expansión necesarios para la elaboración del índice. El esquema de asignación muestral permite asemejar el resultado del proceso completo a uno en que se hubiera realizado una selección aleatoria de expediciones en la segunda etapa de selección muestral.*

*La medición será representativa de días laborales normales de cada período del año, por lo que no se considerarán en ella los fines de semana, feriados y días inter feriados. No se excluirán, no obstante, períodos de vacaciones escolares, inicio del año escolar, u otras semanas especiales (como fiestas patrias) pues se busca que los estimadores abarquen la diversidad de fenómenos que se observan durante el año. No obstante, dado que la medición será representativa de días laborales hábiles "normales", se espera que en la aplicación en terreno se excluyan expresamente situaciones*

---

<sup>1</sup> Esta regularidad pudiera ser diferente, sin afectar los procedimientos.

*puntuales. Esto es, que no se mida en días o semanas con alteraciones particulares de movilidad -relevantes para la ciudad o para algunos sectores de ella- situaciones que pudieran considerarse esporádicas, como marchas, accidentes viales, eventos naturales de magnitud, o grandes eventos deportivos, en particular, dada la imposibilidad de controlar su representatividad en las muestras para la construcción de los indicadores.*

*Cada servicio muestreado se medirá durante solo un día representativo de la temporada, durante todo el período horario establecido (salidas entre las 5:30 y las 20:30). No se solicitará realizar mediciones de un mismo servicio en varios días distintos, para privilegiar captar la variabilidad observada entre los distintos servicios de cada unidad en lugar de contar con reiteradas mediciones de un mismo servicio.*

*El trabajo de campo se aplicará esencialmente en días martes, miércoles y jueves hábiles, aunque, por razones operativas, se considera factible permitir la utilización de las tardes de días lunes y mañana de días viernes, considerando días hábiles normales, en caso de resultar necesario para resguardar los plazos de aplicación o ante necesidad de recuperación de muestra.*

*Se considerará los siguientes períodos horarios, en particular para establecer mínimos de cobertura en la asignación muestral:*

- Punta Mañana (5:30 – 8:29).*
- Fuera de Punta 1 (8:30 – 12:29).*
- Punta Mediodía (12:30 – 14:29).*
- Fuera de Punta 2 (14:30 – 17:29).*
- Punta Tarde (17:30 – 20:30).*

*Consistente con lo anterior, los factores de expansión y corrección de la muestra se deberán estimar en referencia al día laboral normal promedio del periodo de medición, esto es, los totales de salidas y validaciones que se utilizarán como referencia para cada servicio debieran promediarse a nivel de franja horarias, en días laborales, del semestre o trimestre correspondiente.*

### **1.3 Resultados.**

*Como resultado de este marco de medición se contará con mediciones tanto en temporada normal como en temporada estival. Al respecto cabe hacer notar la relevancia de la asignación de muestra en los distintos meses de cada trimestre, en especial en temporada estival, donde la dinámica de los viajes tiene una lógica muy distinta de lo observado en temporada normal, y se observan también marcadas diferencias entre los patrones de viajes de los tres meses que componen el trimestre (meses de enero, febrero y marzo, que son distintos entre sí desde el punto de vista de la demanda de transporte).*

## **2. Metodología de cálculo y asignación muestral**

### **2.1. Tipo de estimador**

*El indicador a elaborar está determinado por la relación entre el total de pasajeros que aborda el servicio en paraderos sin realizar la validación, y la cantidad total de pasajeros que aborda en paraderos, incluyendo tanto pasajeros que validan como pasajeros que no validan. Dicha relación, corresponde a una "tasa de evasión de usuarios en buses"; en este caso, se considera un estimador de razón por un conjunto de consideraciones estadísticas asociadas al tipo de muestreo y, en particular, por requerirse realizar una selección de conglomerados de elementos, al estar reunidas las expediciones en servicios específicos, que pertenecen a segmentos de clasificación también específicos.*

### **2.2. Tipo de muestreo y marco muestral**

*Corresponde a un diseño muestral probabilístico estratificado, que permite una adecuada cobertura horaria y geográfica de los servicios, además de asegurar niveles de error de muestreo adecuadamente controlados (a nivel de Unidad de Negocio y en*

general). La unidad muestral que se utiliza es el servicio, en una Unidad de Negocio y segmento específico, y la muestra se asigna de modo de asemejar el resultado a lo que se observaría con un muestro aleatorio de expediciones en la segunda etapa (lo que en este caso no resulta directamente practicable por temas operativos), asegurando un adecuado tamaño muestral tanto en términos de expediciones como de servicios medidos, y asociándose un proceso de expansión que corrija la representatividad de los resultados.

El marco muestral pone especial cuidado en revisar la cantidad de servicios muestreados por Unidad y estrato, y ampliarlos cuando corresponda.

#### 2.2.1. Marco Muestral

La elección del marco muestral tiene un efecto relevante en la construcción del indicador y en la representatividad del Sistema en su conjunto. Esto, sumado a la amplia variedad en los niveles de evasión en distintos servicios de un mismo operador, lleva a la necesidad de incluir la totalidad de los servicios que operan en horario diurno (6:30 a 21:00), y que funcionen de manera regular. De esta forma, los únicos recorridos a excluir corresponderán a los servicios nocturnos, los servicios ocasionales (inyecciones y similares), no comerciales, y los servicios con operación diurna en que una parte significativa de su trazado se realiza por autopistas, y al mismo tiempo cuenten con menos de 15 paradas. Lo anterior, permitirá caracterizar la tasa de evasión del Sistema conjunto, considerando la totalidad de los servicios operativos y con una cobertura prácticamente completa en salidas y validaciones en todas las unidades.

#### 2.2.2. Segmentación de los servicios

Con el fin de contar con una adecuada segmentación de servicios, maximizando la homogeneidad al interior de cada segmento (en cuanto al indicador a medir), se determina la conformación de estratos basados en los siguientes criterios:

- 1- Estratificación primaria: Unidad de Negocio
- 2- Estratificación secundaria, definiendo subestratos (o segmentos) que consideran una combinación entre la clasificación geográfico-funcional al interior de la Unidad y la segmentación por longitud del servicio (según cantidad de paraderos), cuando corresponda.

#### 2.2.3. Unidad muestral

En el esquema de muestreo se identifican dos unidades muestrales, dependiendo de la etapa analizada. La unidad muestral primaria corresponde a un servicio específico de la unidad o segmento que se esté analizando, el cual ha de ser seleccionado en forma aleatoria. Dicho servicio será considerado tanto en sentido ida, como regreso. Luego, la unidad de muestreo básica o última, asociada a la segunda etapa del proceso, corresponde a una expedición, que es un viaje de un bus específico, en un sentido específico del servicio -ida, o regreso-, en un momento específico del día. Cada expedición es un recorrido que cubre el trazado completo del servicio, desde el terminal de inicio hasta el terminal de destino<sup>2</sup>. Sobre dicha expedición, la evasión se medirá considerando todos los abordajes observados de pasajeros que ingresan al vehículo en los distintos paraderos a lo largo del recorrido.

#### 2.3. Error muestral y estimación de tamaño muestral

El muestreo definido es estratificado y en dos etapas, en donde las unidades muestrales seleccionadas en la primera etapa son servicios específicos de cada segmento analizado, y las unidades muestrales asociadas a la segunda etapa son expediciones de dichos servicios. En consecuencia, el cálculo de los errores muestrales para la estimación de la variable de interés, entendida como un estimador de razón, se realiza en un escenario de muestras complejas, aplicando el método de

---

<sup>2</sup> Sin perjuicio de que para algunos servicios dichos cabezales corresponden a lugares virtuales que, en efecto, pudieran ser un mismo punto (servicios circulares).

conglomerado último, realizando una linealización sobre el estimador de la varianza, mediante una expansión de series de Taylor.

### 2.3.1. Estimación de varianzas y errores muestrales

El muestreo se realiza considerando dos etapas: servicios al interior de un segmento, y expediciones al interior de un servicio. La probabilidad de selección de primera etapa corresponde a la probabilidad de que un servicio  $n_{hv}$  sea seleccionado al interior de un segmento  $v$  que cuenta con  $N_{hv}$  servicios y pertenece a la Unidad de Negocio  $h$ , según la siguiente ecuación:

$$P_{hv}(i) = \frac{n_{hv}}{N_{hv}}, i \in S_1 \quad (1)$$

Donde:

- $h$  : Unidad de Negocio  $h$ ;  $h = U1, U2, \dots, U7$ .
- $v$  : Segmento al interior de la Unidad de Negocio
- $n_{hv}$  : Total de servicios seleccionados en la muestra para la Unidad de Negocio  $h$  y segmento  $v$ .
- $N_{hv}$  : Total de servicios para la Unidad de Negocio  $h$  y segmento  $v$ .
- $S_1$  : Conjunto de servicios regulares diurnos seleccionados.

Por otro lado, la probabilidad de incluir la  $j$ -ésima expedición asociada al  $i$ -ésimo servicio seleccionada en la Unidad de Negocio  $h$  y segmento  $v$ , viene dada por:

$$P_{hv}(j|i) = \frac{m_{hvi}}{M_{hvi}}, i \in S_2 \quad (2)$$

Donde:

- $m_{hvi}$  : Total de expediciones seleccionadas del servicio  $i$  de la Unidad de Negocio  $h$  y segmento  $v$ .
- $M_{hvi}$  : Total de expediciones del servicio  $i$  de la Unidad de Negocio  $h$  y segmento  $v$ .
- $S_2$  : Conjunto de expediciones seleccionadas.

Considerando que ambas probabilidades de selección son independientes entre sí, la probabilidad conjunta,  $P_{hvij}$ , de selección de la  $j$ -ésima expedición ubicada en el  $i$ -ésimo servicio del estrato  $hv$  en la muestra se denota por:

$$P_{hvij} = P_{hv}(i) \cdot P_{hv}(j|i)$$

$$\Rightarrow P_{hvij} = \frac{n_{hv}}{N_{hv}} \cdot \frac{m_{hvi}}{M_{hvi}} \quad (3)$$

Las probabilidades aquí estimadas suponen que, tanto la selección de servicios al interior de un segmento, como la selección de expediciones al interior de un servicio, se realizan de manera aleatoria, dada la conformación previa de segmentos en cada Unidad. Si bien es claro que la selección de servicios puede realizarse sin problemas empleando este método, es necesario que el proceso de selección de expediciones en el servicio se realice también de manera aleatoria, de modo de evitar cualquier sesgo en la estimación.

Considerando la expresión (3), el factor de expansión de cada observación en la muestra corresponde al inverso de la probabilidad de selección; esto es:

$$w_{hvij} = \frac{N_{hv}}{n_{hv}} \cdot \frac{M_{hvi}}{m_{hvi}} \quad (4)$$

Este factor de expansión considera únicamente las probabilidades de selección, y permite garantizar que la muestra está calibrada de modo que reproduzca las

características básicas de la población de interés, que en este caso corresponderá a la distribución de expediciones según Unidad de Negocio, segmento y servicio.

Adicionalmente, los factores de expansión pueden "calibrarse" ajustando los pesos muestrales en función de características poblacionales relevantes, asegurando mayor validez en las estimaciones. Su uso se basa en el supuesto de que, si el procedimiento permite estimar correctamente los totales conocidos de las variables auxiliares, también proporcionará buenas estimaciones de variables objetivo. En este caso, con la muestra recopilada es posible estimar el total de pasajeros que valida en los servicios y horarios analizados, variable que también se puede estimar a través de información externa (registros de transacciones procesados), entonces, los factores de expansión pueden calibrarse de manera que la estimación del total de validaciones coincida con los registros reportados por el Sistema.

En esta metodología se propone utilizar factores de corrección que permitan obtener totales por Unidad de Negocios, segmento y horario del día. Utilizando la información del diseño muestral, así como los totales poblacionales (número de expediciones por servicio y número de servicios por segmento), y los factores de expansión y corrección, es posible estimar errores muestrales de estimación por segmento, por Unidad y a nivel de Sistema.

### 2.3.2. Estimación de tamaños muestrales

#### Conceptos básicos

El análisis de las muestras previas permite obtener información relevante acerca de la precisión estadística del estimador de evasión. En este contexto, se define como **precisión estadística** a aquellas mediciones que dan cuenta de la cercanía entre el estimador proveniente de la medición y el valor verdadero del parámetro. También es utilizada como medida de calidad de la estimación. Cabe mencionar que para los cálculos de tamaño muestral se establece el nivel de confianza de 95% para obtener el percentil de la distribución normal  $Z_{1-\alpha/2}$ .

Se adoptan las siguientes notaciones:

- Parámetro poblacional ( $\theta$ ), valor verdadero de la medida de alguna característica de la población, y que por lo general suele ser estimada ya que no se conoce.
- Estimador ( $\hat{\theta}$ ), corresponde a un estadístico que busca estimar, a través de la muestra, al parámetro poblacional.

A continuación, se exponen algunas medidas de precisión empleadas en el cálculo del tamaño muestral.

- En toda estimación estadística, se entrega información sobre la **media** del estimador (esto es, el valor medio del mismo en la muestra), y la **varianza muestral** (o cuasi-varianza) del mismo, que se denota como  $\sigma^2(\hat{\theta})$  y corresponde a un indicador de su dispersión muestral.
- El **error estándar** se define como la desviación estándar de la distribución muestral de un estadístico, y se obtiene como la raíz cuadrada de la varianza del estimador; esto es:

$$SE(\hat{\theta}) = \sqrt{\sigma^2(\hat{\theta})} \quad (5)$$

Donde:

$\sigma^2(\hat{\theta})$  : Varianza del estimador  $\hat{\theta}$ .

- El **coeficiente de variación (CV)** es una medida de la variabilidad relativa del estimador, que se expresa como el cociente entre el error estándar y el estimador. Este indicador permite comparar la precisión de estimaciones entre mediciones con tamaño muestral diferente, o en que existan escalas de medición distintas. El CV se estima mediante:

$$CV(\hat{\theta}) = \frac{\sqrt{\sigma^2(\hat{\theta})}}{\hat{\theta}} = \frac{SE(\hat{\theta})}{\hat{\theta}} \quad (6)$$

- El **error absoluto** de la estimación, denotado por  $E(\hat{\theta})^{abs}$ , corresponde a la máxima diferencia que se puede esperar entre el parámetro estimado y el verdadero parámetro poblacional con una probabilidad de  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$ . Esta medida se expresa en la misma unidad de medida que el estimador y se suele evaluar con un nivel de confianza de 95%.

$$E(\hat{\theta})^{abs} = Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{\sigma^2(\hat{\theta})} \quad (7)$$

Donde:

$Z_{1-\alpha/2}$  : Percentil de la distribución normal asociado a un nivel de confianza  $1 - \alpha/2$

- El **error relativo** de la estimación se obtiene a partir del valor del error absoluto expresado en términos relativos con respecto al estimador. Su valor está dado por:

$$E(\hat{\theta})^{rel} = \frac{E(\hat{\theta})^{abs}}{\hat{\theta}} = Z_{1-\alpha/2} \cdot \frac{\sqrt{\sigma^2(\hat{\theta})}}{\hat{\theta}} = Z_{1-\alpha/2} \cdot CV(\hat{\theta}) \quad (8)$$

- El cociente entre la estimación de la varianza bajo un diseño complejo versus la estimación bajo un diseño aleatorio simple se denomina efecto del diseño (Deff), término introducido por Kish (1977) y que en términos de tamaño muestral equivale a cuánto se debe aumentar la muestra bajo diseño complejo para alcanzar el mismo nivel de precisión que lo que se obtendría si aplicáramos un muestreo aleatorio simple.

$$Deff = \frac{\sigma^2(\hat{\theta})_{MC}}{\sigma^2(\hat{\theta})_{MAS}} = \frac{\sigma^2(\hat{\theta})_{MC}}{S^2/m_{MAS}} \quad (9)$$

Donde:

$\sigma^2(\hat{\theta})_{MC}$  : Varianza del estimador  $\hat{\theta}$  bajo diseño complejo.  
 $\sigma^2(\hat{\theta})_{MAS}$  : Varianza del estimador  $\hat{\theta}$  bajo un muestreo aleatorio simple.  
 $S^2$  : Varianza poblacional de la variable de estudio cuyo estimador  $\hat{\theta}$  es función de ella,  
 $m_{MAS}$  : Tamaño muestral bajo un muestreo aleatorio simple

En efecto, si  $m_{MAS}$  es el tamaño de muestra necesario en muestreo aleatorio simple para obtener una precisión dada, y  $m_{MC}$  es el tamaño de muestra en muestreo por conglomerados para tener la misma precisión, entonces se tiene:

$$\sigma^2(\hat{\theta})_{MAS} = \sigma^2(\hat{\theta})_{MC} \Leftrightarrow \frac{S^2}{m_{MAS}} = \frac{S^2}{m_{MC}} \cdot Deff \Leftrightarrow m_{MC} = m_{MAS} \cdot Deff \quad (10)$$

Donde:

$m_{MC}$  : Tamaño de muestra requerido bajo diseño complejo.  
 $m_{MAS}$  : Tamaño de muestra requerido bajo un muestreo aleatorio simple.  
 $Deff$  : Efecto de diseño.  
 $S^2$  : Varianza poblacional de la variable de estudio cuyo estimador  $\hat{\theta}$  es función de ella,

Entonces para determinar el tamaño muestral en muestras complejas, se incorpora este factor de ajuste a partir del tamaño para una muestra aleatoria simple ( $m_{MAS}$ ), lo



que permite aproximarse al número de selecciones necesarias ( $m_{MC}$ ) para que el diseño complejo proporcione la misma varianza (Kish, 1977).

Así, en términos prácticos, utilizar un  $Deff = 2$  implicaría el doble de tamaño de muestra que en un muestreo aleatorio simple para alcanzar la precisión deseada.

*Procedimiento para la estimación de tamaños muestrales*

El procedimiento empleado para obtener el tamaño muestral referencial, considerando los parámetros ya mencionados se detalla a continuación.

- 1) **Estimación de parámetros.** Con una muestra preexistente y un procedimiento de análisis de muestras complejas, se obtienen estimaciones a nivel de Unidad de Negocio, de: tasa de evasión, error estándar y efecto de diseño. En el caso de R, estas tres variables son parte de la salida del módulo que analiza los datos. A partir de estos indicadores, es posible estimar la cuasi-varianza muestral (cantidad fundamental para estimar los tamaños muestrales por Unidad), de la siguiente manera:

$$SE(\hat{\theta})_h^2 = \frac{S(\hat{\theta})_h^2}{\sum_1^{n_h} m_{nh}} \cdot Deff(\hat{\theta})_h \quad (F)$$

Donde:

- $n_h$  : Número de servicios en la Unidad de Negocio  $h$ ;  $h = U1, U2, \dots, U7$ .
- $m_{nh}$  : Número de expediciones a muestrear en el servicio  $n$  de la Unidad de Negocio  $h$ .
- $Deff(\hat{\theta})_h$  : Efecto del diseño asociado a la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $SE(\hat{\theta})_h^2$  : Error estándar de la estimación de la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $S(\hat{\theta})_h^2$  : Cuasi-varianza poblacional de la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .

- 2) **Definición del error absoluto esperado por Unidad de Negocio**,  $E(\hat{\theta})_h^{abs}$ . Esto es una definición externa que se requiere establecer para el procedimiento; en este caso, para cada Unidad de Negocio  $h$ .

- 3) **Estimación del número de expediciones a medir** por Unidad de Negocio, dado un error absoluto esperado. Si se establece un 95% de confianza para obtener el percentil de la distribución normal,  $Z_{1-\alpha/2}$ , esto equivale a:

$$\sum_1^{n_h} m_{nh} = m_h = \frac{S(\hat{\theta})_h^2}{\left( \frac{E(\hat{\theta})_h^{abs}}{Z_{1-\alpha/2}} \right)^2} \cdot Deff(\hat{\theta})_h \quad (11)$$

Donde:

- $\sum_1^{n_h} m_{nh} = m_h$  : Número de expediciones a muestrear en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $S(\hat{\theta})_h^2$  : Cuasi-varianza poblacional de la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $Deff(\hat{\theta})_h$  : Efecto del diseño asociado a la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $E(\hat{\theta})_h^{abs}$  : Error absoluto esperado para la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $Z_{1-\alpha/2}$  : Percentil de la distribución normal asociado a un nivel de confianza  $1 - \alpha/2$ .

4) **El error absoluto esperado total**, a nivel de Unidad de Negocio, se puede obtener mediante:

$$E(\hat{\theta})^{abs} = \sqrt{\sum_{h=1}^7 w_h^2 \cdot \left( \frac{E(\hat{\theta})_h^{abs}}{Z_{1-\alpha/2}} \right)^2} \quad (12)$$

Donde:

- $w_h$  : Proporción de expediciones perecientes a la Unidad de Negocio  $h$  ( $M_h/M$ ).
- $E(\hat{\theta})_h^{abs}$  : Error absoluto esperado para la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) en la Unidad de Negocio  $h$ .

5) Cálculo del **coeficiente de variación** estimado por Unidad de Negocio ( $CV(\hat{\theta})_h$ )

$$CV(\hat{\theta})_h = \frac{SE(\hat{\theta})_h}{\hat{\theta}_h} \quad (13)$$

Donde:

- $SE(\hat{\theta})_h$  : Error estándar del estimador de la tasa de evasión en la Unidad de Negocio  $h$ .
- $\hat{\theta}_h$  : Estimación de la tasa de evasión para la Unidad de Negocio  $h$ .

6) Cálculo del **coeficiente de variación** estimado para el total ( $CV(\hat{\theta})$ )

$$CV(\hat{\theta}) = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^7 w_h^2 \cdot (CV(\hat{\theta})_h \cdot \hat{\theta}_h)^2}}{\hat{\theta}} \quad (14)$$

Donde:

- $w_h$  : Proporción de expediciones pertenecientes a la Unidad de Negocio  $h$  ( $M_h/M$ ).
- $CV(\hat{\theta})_h$  : Coeficiente de variación estimado para la tasa de evasión ( $\hat{\theta}$ ) por Unidad de Negocio.
- $\hat{\theta}$  : Estimación de la tasa de evasión total.
- $\hat{\theta}_h$  : Estimación de la tasa de evasión para la Unidad de Negocio  $h$

7) Cálculo del **error relativo** estimado por Unidad de Negocio ( $E(\theta)_h^{rel}$ ).

$$E(\hat{\theta})_h^{rel} = Z_{1-\alpha/2} \cdot CV(\hat{\theta})_h \quad (15)$$

En el procedimiento de cálculo de tamaño muestral se debe definir exógenamente un error absoluto objetivo (o "teórico") por Unidad de Negocio, dimensionando la muestra requerida para alcanzarlo en la práctica, y empleando como base la información histórica de medias y varianzas de la tasa de evasión. No obstante, las mediciones de terreno podrían entregar varianzas significativamente distintas a las históricas, lo que podría implicar que el error muestral estimado a posteriori sea diferente que el teórico. En el caso crítico en que las varianzas sean significativamente mayores que las esperadas, se obtendrán errores a posteriori mayores que los de diseño. La única manera de mitigar este efecto es considerar muestras adicionales en las unidades correspondientes.

#### 2.4. Asignación muestral

Las estimaciones de muestra han supuesto un marco muestral estratificado en unidades y segmentos, y que es posible seleccionar aleatoriamente expediciones al

*interior de cada segmento, de modo que se cumplan los supuestos del muestreo estratificado. No obstante, y como es habitual en procesos de levantamiento de información en terreno, un muestreo aleatorio al interior de cada segmento sería esencialmente impracticable y de alto costo.*

*Por lo anterior, se ha definido un proceso de asignación muestral que apunta a conseguir asemejar lo más posible la composición de muestra a lo que resultaría de un proceso aleatorio, al considerar cantidades de expediciones por servicio que sean proporcionales a las frecuencias de salida según sentido y franja horaria, pero definiendo como referencia un único día para cada servicio, en lugar de permitir que las expediciones se repartan en distintos días dentro del mes. Se considera que el comportamiento de los usuarios en los días laborales normales definidos para la medición (lunes/viernes, martes, miércoles y jueves) es suficientemente parecido como para justificar esta simplificación, que permite programar el trabajo de terreno a un costo significativamente menor. Aunque, en términos estrictos, esta selección de expediciones no es aleatoria en el sentido descrito previamente, se estima que su adecuada repartición según servicios, sentidos y franjas horarias aproxima de manera adecuada la aleatoriedad y, por tanto, los errores muestrales obtenidos como resultado de la aplicación de este método podrán ser aproximados razonablemente por los errores muestrales que se estimen suponiendo muestreo aleatorio, acordes a las ecuaciones y procedimientos descritos en las secciones anteriores.*

*De esta forma, para asegurar una adecuada cobertura horaria de la medición de evasión en cada servicio muestreado, se deberá asignar muestra en las distintas franjas horarias consideradas, definidas en la sección 1, que dan cobertura a todo el período de interés. Los períodos tienen distinta duración en términos de horas, y presentan distinta carga en términos de pasajeros transportados para cada servicio. Similarmente, los períodos presentan también distintos niveles de evasión, pues el fenómeno no se observa parejo a lo largo del día, ni presenta tendencias homologas entre los distintos servicios y sentidos de viaje.*

*Por tanto, se debe realizar esta asignación de muestra según franja en forma proporcional al volumen de expediciones de cada franja en cada servicio-sentido, considerando que la unidad básica de muestreo es la expedición (distinto del caso de realizar una asignación proporcional al volumen de pasajeros, que según se verá más adelante, es lo recomendable al momento de expandir y corregir la información medida, para elaborar los índices).*

*Los criterios empleados para la asignación muestral consideran las siguientes etapas:*

- 1) Cálculo de muestra básica por servicio.*
- 2) Asignación de muestra a segmentos.*
- 3) Selección de servicios.*
- 4) Ajuste de muestra.*
- 5) Asignación de servicios a trimestres.*

*En los siguientes puntos se presentan las distintas etapas del proceso. Ante la imposibilidad de extraer muestras completamente aleatorias al interior de cada Unidad, se divide el proceso de selección muestral en distintas etapas que tuvieron el carácter de "aleatorio".*

- 1) **Cálculo de muestra básica por servicio.** La muestra que se debe seleccionar por servicio debe estar acotada en dos sentidos. En principio, se impone una restricción de muestra mínima por servicio, de modo que todo servicio sea caracterizado por un número adecuado de expediciones a definir. Adicionalmente, dado que el tamaño muestral global es relativamente acotado en función de las expediciones, no sería adecuado que algunos servicios específicos concentren muestras "excesivamente" grandes, especialmente considerando que, los mayores niveles de variabilidad se dan entre servicios y horarios. En este sentido, la medición de muestras para un mismo servicio y*

periodo podría entregar información "redundante", por lo que se establece un criterio para obtener muestras máximas por servicio<sup>3</sup>.

Luego de verificar distintos procedimientos para establecer cotas mínimas y máximas, se optó por el método que maximiza el número de servicios medidos en cada Unidad de Negocio. En suma, el procedimiento consiste en identificar aquel sentido-franja horaria en que el servicio tiene una menor frecuencia programada, y asignar la muestra mínima requerida para dicho sentido y franja horaria (en este caso, una expedición). La muestra para el resto de los días y franjas horarias se estima de manera proporcional a la frecuencia de salida. Entonces, la muestra para el servicio  $s$ , sentido  $j$  y franja horaria  $p$ , correspondería a:

$$n^{sjp} = \frac{f^{sjp}}{\min(f^{sjp})}$$

Donde  $\min(f^{sjp})$  es la mínima frecuencia programada considerando todos los sentidos y franjas horarias en el servicio. Es altamente probable que este valor corresponda a un número decimal, por lo que debería redondearse con el procedimiento usual (si la parte decimal del número es mayor que 0,5, se redondea al entero siguiente; en caso contrario, se trunca el número obtenido). Esta fórmula de cálculo permite estimar de manera directa el tamaño de muestra requerido por servicio. Debe notarse que esta definición no lleva implícito el establecimiento de una muestra máxima, por lo que en rigor ésta debería imponerse exógenamente, especialmente considerando que podría darse una muestra muy alta en casos en que existan desbalances significativos entre frecuencias de salidas entre periodos punta y fuera de punta. En el caso práctico acá estudiado, se impuso un valor máximo de 5 expediciones a medir por sentido y franja horaria, de manera que la expresión anterior se transforma en:

$$n^{sjp} = \min\left(5; \frac{f^{sjp}}{\min(f^{sjp})}\right)$$

Como el marco muestral incluye prácticamente todos los servicios del Sistema, incluyendo los que también se consideran servicios que operan de manera discontinua (sólo en horarios punta), el método propuesto podría llegar a sugerir la medición de una única expedición a medir por servicio, para estos últimos. Considerando esta restricción, se definió que, en aquellos servicios que sólo funcionan en horarios punta, se midiera un mínimo de 3 expediciones en las franjas durante las cuales éstos operan, de modo que, como mínimo, se contara con 3 observaciones para estimar la evasión por servicio.

El resultado de estos cálculos es una muestra predefinida a nivel de servicio, que representa el total de expediciones a medir para caracterizar apropiadamente la evasión al interior del servicio, en caso de que éste sea seleccionado como parte de la muestra del semestre de interés. Es importante mencionar que este cálculo es independiente del tamaño muestral referencial que se haya calculado para la Unidad de Negocio o segmento correspondiente, y, por tanto, corresponde a un procesamiento que puede realizarse exógenamente, antes del diseño de la muestra.

- 2) **Asignación de muestra a segmentos.** Cuando ya se ha definido la muestra total requerida a nivel de Unidad de Negocio, corresponde repartirla según segmento. Para ello, deberá emularse una distribución aleatoria, considerando repartir la muestra proporcionalmente según el volumen de salidas que representa cada segmento al interior de la Unidad. De esta manera, la muestra

---

<sup>3</sup> En la actualidad, este criterio de muestra máxima está dado, en la práctica, por el máximo número de expediciones que puede medir una cuadrilla a lo largo del día. Este mecanismo, que no tiene ningún sustento estadístico y muestral, sesga la muestra hacia servicios más cortos (en los que se alcanza a medir un mayor número de expediciones). Uno de los objetivos de esta propuesta de asignación muestral es precisamente resolver este sesgo.

$n^{hv}$  que correspondería medir en el segmento  $h$  al interior de la Unidad  $v$ , estaría dada por:

$$n^{hv} = n^v \cdot \frac{f^{hv}}{f^v}$$

En esta expresión:

- $n^{hv}$  : Muestra de expediciones en el segmento  $h$  al interior de la Unidad  $v$
- $n^v$  : Muestra total asignada a la Unidad  $v$
- $f^{hv}$  : Total de salidas programadas de los servicios del segmento  $h$  en el semestre.
- $f^v$  : Total de salidas programadas de todos los servicios de la Unidad  $v$  en el semestre.

La distribución proporcional emula una distribución aleatoria porque se asignará más muestra en aquellos segmentos en que exista una mayor cantidad de salidas (y presumiblemente, un mayor volumen de usuarios), que es lo que sucedería si el proceso se efectuara de manera completamente aleatoria.

3) **Selección de servicios.** Considerando que no existen justificaciones estadísticas sólidas para el hecho de elegir un número fijo y predeterminado de servicios al interior de cada segmento<sup>4</sup>, deberá distribuirse la muestra de cada segmento entre tantos servicios como lo permita el tamaño muestral total asignado al segmento (calculado en 2), la cantidad de servicios al interior de cada segmento, y la muestra "sugerida" por servicio (calculada en 1). De esta manera, para cada segmento  $h$  (al que, en el paso 2, se asignó una muestra de  $n^{hv}$  expediciones):

- i) Ordenar aleatoriamente los servicios pertenecientes al segmento  $h$ .
- ii) Elegir el primer servicio de la lista, al que en el paso 1 se asoció un total de expediciones igual a  $n^{s1}$ .
- iii) Estimar  $n^* = n^{hv} - n^{s1}$ , el número remanente de expediciones por asignar.
- iv) Si  $n^* < n^{s2}$  (el tamaño muestral asociado al segundo servicio de la lista), terminar el proceso. Si no sucede esto, elegir el segundo servicio de la lista, y actualizar  $n^* = n^* - n^{s2}$ .
- v) Seguir incorporando servicios a la muestra hasta que se cumpla, en el  $i$ -ésimo servicio, que el número de expediciones por asignar sea menor que el número de expediciones asignadas a dicho servicio ( $n^* < n^{si}$ ).

4) **Ajuste de muestra.** El procedimiento definido permite asignar menos expediciones que las indicadas en el cálculo del punto (3). Esto se esperable, dado que la definición de la muestra requerida por servicio es esencialmente independiente del cálculo del tamaño muestral por unidad y segmento. Por ello, es necesario un ajuste final de muestra, de modo que se asignen las expediciones remanentes. Esta asignación debe realizarse entre los servicios ya escogidos al interior de cada segmento, ya que la incorporación de servicios adicionales necesariamente redundará en añadir servicios con una muestra que puede ser inferior a la mínima requerida.

El procedimiento considera, para cada segmento,

- i) Tabular, para cada servicio seleccionado en el punto (3), las frecuencias de operación programadas según sentido y periodo.
- ii) Ordenar las observaciones de manera decreciente según total de salidas programadas.

<sup>4</sup> De hecho, el Informe del INE no se pronuncia sobre la conveniencia de este enfoque, ni sobre la conveniencia de seleccionar 2, 3, 5 ó más servicios al interior de cada segmento.

- iii) *Asignar consecutivamente una expedición adicional, en orden decreciente según salidas, hasta que estén asignadas todas las muestras remanentes.*
- iv) *Si se llega a completar el proceso en todos los servicios, sentidos y franjas con salidas al interior del segmento, y no se ha logrado asignar la totalidad de la muestra remanente, se vuelve a asignar muestra al servicio-sentido-franja con mayor cantidad de salidas y se repite el proceso.*

*Con este procedimiento se ajustan las muestras por segmento, de manera que éstas coincidan con el total requerido, y adicionalmente, se cautela que esta muestra "adicional" se concentre en aquellos servicios que tengan un mayor volumen de usuarios, emulando una selección aleatoria de expediciones.*

### **3. Metodología de medición y estimación del índice de evasión**

#### *3.1. Esquema general*

*El Ministerio estará a cargo del diseño metodológico de las mediciones, así como de la estimación de los tamaños muestrales, la asignación de la muestra, la supervisión del proceso, la generación de los indicadores a reportar (corregidos y expandidos) y el reporte de los indicadores a la opinión pública. Por otro lado, la ejecución de la campaña de mediciones en terreno y el procesamiento de la información, estarán a cargo de un externo.*

*En consecuencia, el rol del Ministerio en las campañas de terreno se limitará a dos tareas:*

- 1) **Realizar las estimaciones muestrales y entregar la información** que se requiera para realizar correctamente las mediciones y el procesamiento de la información (Estimación y asignación detallada de la muestra, Planes de Operación vigentes, estadísticas por servicio, tiempos de viaje, etc). Todo deberá estar disponible al momento de iniciar la planificación del trabajo de campo, y deberá existir coordinación entre el Ministerio y el externo para comunicar cualquier eventualidad que implique alteraciones en los servicios u operadores que corresponda medir en el marco del estudio.
- 2) **Supervisar la correcta aplicación de la metodología en terreno.** A través de reuniones periódicas de planificación, visitas esporádicas a terreno y/o solicitudes de reportes de avance. Se deberá destinar a un profesional adecuado para actuar como contraparte técnica en el desarrollo del trabajo de campo (el que debiera ser el equipo que realice los cálculos de tamaños y asignaciones muestrales en cada instancia de medición, además del cálculo del índice).

#### *3.2. Medición del índice de evasión en terreno*

*Las mediciones de evasión se deben realizar con personal capacitado y organizado en grupos de medidores, a su vez supervisados en terreno. Cada medición de una expedición ha de contar con un medidor en cada una de las puertas de un bus durante un viaje completo (ida o regreso del servicio, entre los terminales o puntos identificados como inicio y fin del trazado). El procedimiento deberá considerar la fórmula del fiscalizador incógnito.*

*La medición se realiza llevando a cabo una contabilización de pasajeros, en que el dato principal registrado es la cantidad de usuarios pagantes y la cantidad de usuarios no pagantes que abordan cada puerta<sup>5</sup>, separadamente para cada paradero de la expedición. En este punto, es importante considerar que el Sistema de transporte público de Santiago no cuenta con sistemas de conteo de usuarios a bordo de vehículos, por lo que, por el momento, las mediciones de perfiles de carga implícitas en esta medición pueden resultar un mecanismo útil también para cuantificar el*

---

<sup>5</sup> Alternativamente, pudiera optarse por contabilizar la cantidad de usuarios pagantes o no pagantes, y, adicionalmente el total de pasajeros que aborda, para separar en el post-procesamiento los dos datos disjuntos (pasajero pagante y pasajero no pagante).

volumen real de usuarios que se desplaza a bordo de los vehículos del Sistema, en los distintos tramos del trazado, el que no puede obtenerse directamente de la información de validaciones. De hecho, el registro de evasión deberá incluir también el total de personas observadas en el bus al inicio y término de la medición (total que no siempre es cero). Ese dato, junto con el registro de personas que descienden del bus en cada paradero, será utilizado en procedimientos de validación de la medición (en una cuantificación de balance de masas), e indirectamente permite observar el perfil de carga para cada expedición medida.

En consecuencia, el procedimiento de medición se realiza buscando lograr una cuantificación exhaustiva de los volúmenes de usuarios observados en las expediciones en cada paradero, incluyendo pasajeros que abordan (pagando y no pagando, separadamente) pero también del volumen de pasajeros que desciende en cada parada, así como el total de pasajeros observados en la máquina al inicio y término de la expedición. Lo anterior, permite realizar un chequeo de consistencia fundamental para el dato principal del registro, para cada una de las expediciones abordadas, detectándose eventuales errores de registro o inconsistencias que pueden derivar en la necesaria eliminación de expediciones. Asimismo, este enfoque permite incluso estudiar posteriormente el fenómeno a nivel de perfiles de carga, zonas geográficas, grupos de paraderos o paraderos específicos<sup>6</sup>.

El dato se asociará a cada parada efectuada por un servicio (independiente del tipo de servicio) y será levantada por una cuadrilla de medidores al interior de cada bus. La información a recopilar en cada expedición, para un cierto periodo y en un sentido específico, debe ser, al menos, la siguiente:

- Tipo de bus,
- Número del servicio,
- Placa patente,
- Hora de salida del cabezal de inicio (en formato HH:MM:SS), y
- Cantidad de pasajeros presentes en el bus al iniciar la medición
- Cantidad de pasajeros presentes en el bus al terminar la medición
- Hora de llegada al terminal (cabezal) de término de recorrido (HH:MM:SS)

Por otra parte, los datos a recabar en cada detención durante el recorrido deben ser, al menos, los siguientes, los que serán registrados en cada parada específica, identificada con su nombre o ubicación (intersección) más cercana:

- Cantidad de pasajeros que suben y validan en la parada.
- Cantidad de pasajeros que suben y no validan en la parada.
- Cantidad de pasajeros que bajan en la parada.

Los formularios deberán contar con la identificación de los paraderos asociados a cada servicio, de forma que no se requiera registrar el dato de identificación del paradero en terreno. Por su parte, no se considera deseable que el registro en terreno incluya la identificación de si uno u otro paradero está operando como zona paga, pues este dato es perfectamente imputable en el post procesamiento<sup>7</sup>.

A pesar de que la actividad de medición es la principal labor que se ha de desarrollar, es importante notar que los trabajos de pre y post procesamiento son también muy relevantes. De hecho, el trabajo de post procesamiento de los datos, que incluye validaciones, eliminación de registros (descarte por inconsistencias o incompletitud) e incluso la corrección de registros dentro de criterios claramente preestablecidos, es una etapa crucial del proceso.

---

<sup>6</sup> Dado que las expediciones se medirán a lo largo de todos los paraderos de cada servicio, identificando el paradero asociado a cada registro, según el sentido de operación que se esté analizando, los resultados de estas mediciones podrían utilizarse para analizar el comportamiento del fenómeno en zonas, ejes o, incluso, paraderos específicos. No obstante, en esto es importante notar que el marco muestral fue diseñado para asegurar ciertos niveles de error estimado –preestablecidos– respecto de los niveles de evasión medida a nivel de Unidad de Negocio y global, no para desagregaciones mayores.

<sup>7</sup> Este dato correspondería a una situación ocasional y su registro pudiera, además distraer al fiscalizador de su labor principal, que es sistemática.

### 3.3. Metodología de trabajo detallada

Teniendo presente lo anterior, la metodología del trabajo de campo constará, en términos generales, de las siguientes etapas:

1. Asignación de muestras.
2. Planificación de trabajo en terreno.
3. Medición en terreno.
4. Procesamiento y validación de la información.
5. Entrega de resultados.

#### 3.3.1. Asignación de muestras

##### *Nómina de servicios y esquema de muestreo*

*Quien realice la medición recibirá la nómina con los servicios seleccionados a ser medidos y el esquema de muestreo correspondiente, que se traducirá en cantidades de expediciones completas a abordar por sentido y período (rango horario), dependiendo de las frecuencias operativas de cada uno. Este tamaño muestral habrá sido asignado de manera proporcional (según volumen de expediciones) entre las distintas franjas de cada servicio, lo que permite aproximar el proceso de toma de muestra a un mecanismo aleatorio de selección, pero resguardando ciertos umbrales (mínimos de cobertura horaria y cantidad total de expediciones por servicio).*

*La muestra deberá ser entregada con una desagregación a nivel trimestral; esto es, especificando con claridad los servicios que deben ser medidos al interior de cada trimestre. Esto, con la finalidad de fijar con claridad la distribución requerida para que la muestra -estimada para obtener representatividad a nivel semestral- se reparta de manera homogénea entre ambos trimestres.*

##### *Mediciones adicionales*

*Para asegurar la adecuada cobertura del proceso y, especialmente, debido a la posible eliminación de expediciones con registros no válidos o distintas contingencias que pudieran observarse en terreno, se deberá considerar que para lograr las muestras comprometidas -en términos de cantidad de expediciones según servicios, sentido y franja horaria- es muy posible que requiera "recuperar" mediciones (expediciones) que no cumplan los criterios establecidos. La eventual recuperación deberá realizarse en los servicios, sentidos y franjas horarias específicos en que dichas falencias se detecten, entendiéndose que los requerimientos en términos de tamaños muestrales se refieren a expediciones adecuadamente validadas y registradas en la base de datos definitiva.*

*Independiente de lo anterior, las mediciones deberán considerarse un 3% de muestra adicional al tamaño establecido por el marco muestral, en términos de la cantidad de expediciones que se considerarán en la medición. Dichas expediciones adicionales se utilizarán, en caso de requerirse, para complementar la medición en una o más unidades cuyos errores calculados ex post queden por sobre los errores máximos admisibles habiendo realizado las estimaciones con las muestras validas establecidas en el marco muestral, definiéndose su uso específico en conjunto con la contraparte, pero considerando, en principio, aplicarla en aquellos segmentos y servicios en que se observe mayor variabilidad en la evasión medida, para la o las Unidades de Negocio cuyos resultados medidos presenten errores superiores a los teóricos preestablecidos, tomando siempre expediciones en ambos sentidos de operación del servicio seleccionado. Para esta eventual medición adicional, al interior del segmento correspondiente los servicios a medir se deberán seleccionar de manera aleatoria, siguiendo los mismos criterios de asignación muestral a lo largo de las franjas horarias que se detallan para el procedimiento principal. Todo lo anterior hace que se requiera que el procesamiento de la información recolectada se vaya realizando en forma paralela a las mediciones, al menos inmediatamente después de que se termine de medir cada servicio. La tolerancia a este error efectivo (error muestral medido con los*



datos recolectados, para Unidad de Negocios) será predefinida, y se deberá acordar con la contraparte técnica donde alojar la muestra que aquí se indica.<sup>8 9</sup>

### *Resolución de aspectos específicos*

*En esta etapa, quien realice la medición y la contraparte técnica del Ministerio deberán reunirse para coordinar los aspectos específicos que puedan implicar modificaciones a la planificación de terreno, y que no hayan sido definidos en etapas anteriores. En específico, se deberán revisar todos los eventuales cambios operativos que puedan afectar a los servicios que se deben medir (por ejemplo, modificaciones de trazado producto de reparaciones en las vías, cambios de cabezal en alguno de los extremos del servicio, cambios en los horarios de operación, cambios en los trazados de las variantes por reversibilidad, feria u otros), y que se encuentren implementados o en fase de planificación. Asimismo, se deberá analizar cualquier modificación en la operación de zonas pagas, en términos de horarios de inicio y término, localización geográfica, servicios o unidades que pueden utilizarlas, entre otros. Finalmente, se revisarán la programación de las mediciones de modo de coordinar la supervisión de las mediciones.*

*Se deberá promover y mantener plena coordinación entre ambas contrapartes, de modo que cualquier alteración o modificación en los servicios que corresponda medir, sea conocida por todos y no redunde en errores de medición o en la necesidad de recuperar o repetir mediciones.*

#### *3.3.2. Planificación del trabajo en terreno*

##### *Construcción de cronograma de mediciones*

*A partir de la asignación de la muestra a los distintos servicios, sentidos y franjas, se deberá establecer, de manera previa al desarrollo del trabajo de terreno, una planificación detallada de los servicios y sentidos a medir, especificando con claridad los días y horarios de medición a abordar en cada servicio y sentido<sup>10</sup>, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las cuotas de expedición por servicio y franja horaria, así como las restricciones de medición en un trimestre determinado<sup>11</sup>. La programación de los servicios deberá cautelar que, dentro de las cuotas muestrales asignadas en cada trimestre, exista una distribución mensual apropiada, de modo que los servicios de un operador o segmento no estén concentrados en un mes en específico.*

*Una vez consensuado lo anterior, la programación de los servicios a nivel de sentido y franja horaria deberá transformarse en una "planilla de control" o cronograma de mediciones por servicio-sentido, en que se especifique con claridad un horario sugerido para el inicio de cada expedición. Estos horarios serán determinados de forma tal que se logre una distribución homogénea de las expediciones medidas al interior de cada franja horaria. La planilla de control o cronograma deberá ser construida por un*

---

<sup>8</sup> Estas mediciones adicionales son necesarias para reducir los márgenes de error a posteriori demasiado altos, en segmentos en que se hayan observado, en la práctica, varianzas mayores a las de diseño. Entonces, debe tenerse en cuenta que, en cualquier caso, su realización no garantiza que se alcancen los errores de diseño en la práctica. Asimismo, no debe confundirse el propósito de esta muestra adicional, la que no debe ser utilizada para recuperar expediciones mal medidas.

<sup>9</sup> Dada la alta variabilidad del fenómeno, no es posible predecir la magnitud de las eventuales diferencias entre el error de diseño y el error obtenido a posteriori, aunque es esperable que, sin cambios significativos en el Sistema, éstas sean pequeñas. En este sentido, las diferencias máximas tolerables deberán ser definidas por el mandante. Considerando que la única forma de reducir este error de muestreo es incorporar una mayor cantidad de expediciones a la muestra, se espera que el costo de la medición sea la principal variable para considerar en esta decisión.

<sup>10</sup> Se espera que la programación considere un día específico para la medición de cada servicio, considerándose uno o más días adicionales más que nada en caso de requerirse recuperación. Asimismo, en principio, los días de medición programados serán martes, miércoles o jueves, aunque pudiera acordarse con el consultor el uso de las tardes de días lunes y las mañanas de días viernes, si se requiere que la campaña de medición se realice en un plazo acotado.

<sup>11</sup> Se refiere a eventuales cambios que se requiere realizar en campañas prolongadas de medición en terreno: no medir en días previos a festivos, suspender en caso de eventos climáticos extremos o cualquier elemento de fuerza mayor que altere la operación del Sistema. En vista de este tipo de eventos, es importante contar con una planificación detallada pero no "rígida", sino que admitir que la operación en terreno impondrá restricciones y modificaciones menores.

externo, quien requerirá para ello información de tiempos medios de viaje por expedición y franja horaria, para todos los servicios a medir. En consecuencia, el cronograma deberá ser construido con las siguientes consideraciones:

- 1) Si se debe asignar una única medición por servicio y franja horaria, el horario de inicio debería corresponder a la hora media de la franja.
- 2) Si se debe asignar más de una medición por servicio y franja horaria, las expediciones deberán distribuirse homogéneamente al interior de la franja.<sup>12</sup>

Estos horarios deben considerarse como "referenciales", permitiéndose modificaciones menores en las horas de inicio planificadas, siempre que se cumplan las condiciones (1) y (2) antes mencionadas con un cierto nivel de tolerancia, por ejemplo, de entre 10 y 15 minutos (dependiendo de la duración de la franja). Estas pequeñas alteraciones de los horarios planificados son esperables, y usualmente se deben a alteraciones en los tiempos de duración efectiva del viaje del servicio (respecto del tiempo medio asumido en la planificación), lo que pudiera causar retrasos en la llegada de los medidores del sentido opuesto.<sup>13</sup>

Esta planilla deberá quedar registrada como parte del material de respaldo del correcto desarrollo de la actividad, deberá ser enviado a la contraparte al inicio de la medición, de forma de facilitar la supervisión de las actividades, como se mencionó en la sección 3.1.

#### Diseño de formularios

La planificación del trabajo en terreno incluirá el diseño de formularios ad hoc para la recopilación de información de subidas y bajadas. Un aspecto muy relevante, dice relación con la importancia de contar con la mayor cantidad posible de datos dispuestos de manera previa al inicio de las mediciones, simplificando en la mayor medida posible el registro por parte de los medidores. En este sentido, para optimizar el levantamiento de información deberá realizarse la preimpresión de los paraderos en los formularios de medición. Los formularios que se emplearán para medir una misma expedición deberán estar foliados de manera previa al inicio del trabajo de terreno, de modo de evitar cualquier confusión en la validación de la información.

Deberán, asimismo, utilizarse formularios en papel, pues a pesar de que la habilitación de un formulario digital resulta perfectamente factible en la actualidad, la flexibilidad del uso del formulario en papel en terreno ha mostrado ser una ventaja mayor que el ahorro de recursos en digitación o post procesamiento que proveen los dispositivos electrónicos; a saber: (1) el formulario de papel corresponde al método habitual empleado por los equipos de medidores experimentados en labores de recopilación de información de transporte en terreno; (2) no requiere capacitación adicional asociada al uso de dispositivos electrónicos; (3) hace que la medición sea independiente de condiciones imposibles de controlar (como cobertura de la red de datos o del GPS del teléfono), o de procesamientos computacionales intermedios (como la asignación de paradero a una medición específica); y (4) permite trazabilidad de la medición en todos sus procesos, al encontrarse disponible el dato fuente para cualquier consulta o validación posterior.

En consecuencia, en caso de aceptar que se realice las mediciones con algún tipo de dispositivo digital, resulta indispensable que el externo muestre experiencia concreta en un uso muy similar (ojalá el mismo que el contratado) y que, además, realice una aplicación piloto que pueda ser verificada por el Ministerio, en sus distintas etapas (registro y post-procesamiento), pues se estaría utilizando una forma de medir que no

---

<sup>12</sup> Para esta asignación de horarios resultaría factible establecer imposiciones respecto de la hora de inicio, para evitar medir salidas que se encuentren muy al borde del horario de término de la franja. No obstante, lo anterior impone cierta complejidad, debido, en especial, a la diversidad en la duración tanto de las franjas horarias como de los recorridos, por lo que no se considera recomendable. En cambio, si se desea corregir en alguna medida la representatividad de los datos, en los casos en que algunas expediciones ocurran principalmente en el horario de la franja posterior, esto puede considerarse en el proceso de expansión.

<sup>13</sup> Es importante entender que estas holguras aceptadas respecto de los horarios planificados se establecen pensando en los efectos de las condiciones operativas de los servicios, y que su uso no debe responder a ajustes de los horarios de inicio del trabajo de terreno. Por ejemplo, no sería aceptable que los servicios fueran medidos sistemáticamente más tarde de lo programado al inicio de unas u otras franjas horarias, por problemas con el horario de llegada del personal de terreno.

ha sido probada aún en este tipo de medición, pudiendo requerirse diversos ajustes al procedimiento para lograr el necesario control.

### 3.3.3. Medición en terreno

#### Medición de subidas/bajadas e información complementaria

Las cuadrillas abordarán el bus y ajustarán su hora con la hora del validador del vehículo (este ajuste no resulta necesario si la medición se realiza a través de medios electrónicos). Los medidores deberán pagar el importe de la tarifa a través de la tarjeta Bip, y luego completar la información básica de la medición en la parte superior del formulario: tipo de bus, placa patente (PPU) del vehículo, fecha y hora de inicio de la medición. Cada medidor tendrá asignada una puerta, y se ubicará en un lugar estratégico del bus, como forma de tener la mejor visibilidad para la toma de datos.

1) Los medidores que se ubiquen **en todas las puertas del bus que cuenten con validador** (generalmente, sólo la puerta delantera, aunque algunos buses cuentan con validadores en otras puertas del vehículo), deberán registrar la información desagregada distinguiendo los usuarios que pagan su tarifa de los que no. De esta forma, la información registrada por este medidor en cada parada<sup>14</sup> corresponderá a:

- Cantidad de subidas de pasajeros que validan en cada parada.
- Cantidad de subidas de pasajeros que no validan en cada parada.
- Cantidad de bajadas en cada parada.

2) Los medidores que se ubiquen **en todas las puertas del bus que NO cuenten con validador** deberán registrar en cada parada, la información correspondiente a:

- Cantidad de subidas en cada parada.
- Cantidad de bajadas en cada parada.

La información complementaria de la medición (esto es, la que no corresponde estrictamente a un conteo de perfil de carga), deberá ser registrada por aquel medidor que cuente con un nivel de actividad menor, que posibilite este registro. En general, éste debiera corresponder al medidor localizado en la última puerta del bus, ya que en esta puerta se produce un número relativamente reducido de subidas en paraderos, y la actividad mayoritaria se asocia a las bajadas. De esta forma, el medidor encargado de las mediciones complementarias deberá registrar, además de las subidas y bajadas, al inicio de la medición:

- Cantidad de validadores operativos del bus.
- Cantidad de personas a bordo del bus al inicio de la expedición<sup>15</sup>.

Durante la medición, en cada una de las paradas del recorrido, este medidor registrará la siguiente información:

- Registro de detención del vehículo en cada parada (bus para/no para).
- Horario de la detención.

---

<sup>14</sup> Como se mencionó previamente, sólo se consideran subidas y bajadas realizadas en paradas oficiales, registradas como tales en el Consolidado de Paradas de Transantiago. En caso de que se registren subidas y bajadas en paraderos "informales", éstas se asociarán al paradero oficial más cercano.

<sup>15</sup> Este evento sucede cuando los recorridos no cuentan con un terminal en cada cabezal, sino que realizan una circunvalación en un paradero determinado. Es posible que un número de pasajeros siga a bordo del vehículo una vez concluido el viaje en un sentido, y de manera posterior al inicio del viaje en sentido opuesto. Si la cuadrilla aborda este vehículo en el cabezal correspondiente, encontrará el bus con pasajeros y no tendrá información respecto de los puntos de subida ni una eventual evasión de tarifa. No obstante, este total de pasajeros es importante en términos de balance del perfil de carga del servicio, éste debe ser registrado de manera independiente al resto de las subidas. Similar fenómeno se da en el caso opuesto (pasajeros a bordo del bus al término de la expedición).

- *Presencia de fiscalizadores de evasión en la parada, o a bordo del bus<sup>16</sup>.*

*El medidor que, además de las subidas y bajadas, registra la información complementaria, será designado por el supervisor del terminal correspondiente al inicio del recorrido, y contará con un formulario ad hoc, que incorpore los campos requeridos.*

### *Zonas Pagas*

*Considerando que algunos de los servicios tienen detenciones en zonas pagas, el conteo de las subidas deberá realizarse con mayor cuidado, puesto que se esperan mayores afluencias en estos puntos. De hecho, los equipos de medición a bordo de los buses no siempre consiguen observar con claridad si la detención se realiza en un paradero común o en una zona paga, por lo que se deberá realizar el análisis detallado de esta información a posteriori, como parte del procesamiento de datos. Ello, porque en rigor ninguno de los usuarios que aborda el bus en zonas pagas debe ser parte de la construcción de los indicadores de evasión en buses, ya que, por la naturaleza de la metodología de medición, se desconoce cuántos de ellos pagaron su tarifa al ingresar a la zona paga. En este sentido, el registro de subidas y bajadas en zonas pagas debe realizarse únicamente para garantizar consistencia en la construcción del perfil de carga y de la metodología de medición en general, pues en el procesamiento de datos, y posterior elaboración de índices, esta información no será utilizada.*

#### *3.3.4. Procesamiento y validación de la información*

*La información que proviene directamente de las mediciones de terreno debe ser revisada y validada antes del cálculo de los índices requeridos.*

*Para la elaboración de una base de datos de estimación consistente, cuyos registros se consideren válidos, deberá considerarse, al menos, las siguientes etapas y aspectos de validación.*

### *3.4. Elaboración del indicador*

*El producto del servicio de medición será una base de datos validada y consolidada, junto con un reporte del trabajo en terreno, la metodología utilizada y los resultados de las mediciones. Para esta etapa, se deberá disponer toda la información necesaria, principalmente, frecuencias de operación y registro de validaciones, así como los detalles del procedimiento de expansión y corrección de la información, de modo que el resultado principal del estudio sea:*

- *Los índices de evasión por Unidad de Negocio, incluyendo una estimación de los márgenes de error respectivos, considerando el efecto del diseño.*
- *El índice de evasión del Sistema, incluyendo una estimación del margen de error respectivo, considerando el efecto del diseño.*

*De esta forma, la elaboración del indicador deberá considerar de manera explícita la estructura del diseño muestral que se desarrolló en cada instancia, por lo que los cálculos deberán realizarse empleando un software estadístico ad hoc.*

*La expresión final del indicador de evasión a nivel de Unidad de Negocio incluye el efecto de los factores de expansión y corrección descritos en la sección 2.3. Debe recordarse que el factor de expansión corresponde al inverso de la probabilidad de selección de una expedición determinada. Existe un factor de expansión  $w_{hvi}$  para cada Unidad de Negocio  $h$ , segmento  $v$ , y servicio  $i$ . Por su parte, el factor de corrección permite corregir la estimación considerando un indicador de volumen de usuarios de transportados. Según esto, el factor de corrección  $f_{hvt}$  varía según Unidad de Negocio  $h$ , segmento  $v$ , y franja horaria de salida  $t$ , y depende del total de validaciones en el universo y la muestra.*

---

<sup>16</sup> Más allá de quien realice la fiscalización, este registro tiene por objetivo distinguir aquellas paradas que cuentan con algún tipo de vigilancia de aquellas en que la subida se realiza sin vigilancia alguna.

Según las consideraciones estadísticas y el tipo de estimador, la tasa estimada de evasión de usuarios que abordan los buses en paraderos (no zonas pagas) en la Unidad de Negocio  $h$ , se estima mediante la siguiente expresión:

$$\hat{E}_h = \frac{\sum_{itv} w_{hvi} \cdot f_{hvt} \cdot NP_{hvit}}{\sum_{itv} w_{hvi} \cdot f_{hvt} \cdot T_{hvit}}$$

En esta expresión:

- $\hat{E}_h$  : Estimador de tasa de evasión para la Unidad de Negocio  $h$
- $w_{hvi}$  : Factor de expansión para las expediciones del servicio  $i$ , perteneciente al segmento  $v$  y Unidad de Negocio  $h$
- $f_{hvt}$  : Factor de corrección para las observaciones realizadas con horario de salida en la franja horaria  $t$ , en los servicios pertenecientes al segmento  $v$  y Unidad de Negocio  $h$
- $NP_{hvit}$  : Total de usuarios que, en la muestra, es observado evadiendo el pago de la tarifa en la muestra de observaciones realizadas en el servicio  $i$ , perteneciente al segmento  $v$  y Unidad de Negocio  $h$ , durante la franja horaria  $t$ .
- $T_{hvit}$  : Total de usuarios que sube (incluyendo usuarios que validan y no validan), observado en la muestra de observaciones realizadas en el servicio  $i$ , perteneciente al segmento  $v$  y Unidad de Negocio  $h$ , durante la franja horaria  $t$ .

En este caso, la sumatoria considera todas las franjas horarias, servicios y segmentos de la Unidad de Negocio  $h$ . El procedimiento también entrega las estimaciones de error estadístico a nivel de Unidad de Negocio.

La tasa global de evasión para usuarios que abordan los servicios en paraderos (no zonas pagas) se estima de manera análoga, incluyendo ahora el subíndice  $h$  en la sumatoria (esto es, considerando en la suma todas las observaciones de la muestra).

La estimación de error estadístico para el Sistema en su conjunto se realiza siguiendo el procedimiento explicado en la sección 2.3.2.

La presentación de la información debería estructurarse de modo que pueda construirse una serie de tiempo con las distintas mediciones. Así, podrían compararse la evolución histórica de indicadores como:

- Índice de evasión en paraderos para el Sistema en su conjunto (considerando sus márgenes de error).
- Índice de evasión en paraderos para cada Unidad de Negocio (considerando sus márgenes de error).
- Comparación de índices de evasión según Unidad de Negocio.

Se debe tener presente que algún indicador de evasión con desagregaciones menores a las mencionadas (por ejemplo, estimaciones a nivel de servicio, sentido y paradero, o grupos de paraderos) no cuenta con una estimación de error de medición, ya que los tamaños muestrales definidos en esta metodología no fueron dimensionados para obtener indicadores confiables a niveles de desagregación menores a los aquí establecidos (esto es, a nivel de unidad y global)."

**2. DÉJASE SIN EFECTO** la Resolución Exenta N°2981, de 2017, de la Subsecretaría de Transportes, por las razones expuestas en la parte considerativa del presente acto administrativo.



**3. DÉJESE CONSTANCIA** que la presente resolución exenta no irroga gastos para el servicio.

**ANÓTESE Y COMUNÍQUESE**

**Distribución:**

GABINETE MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES  
GABINETE SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES  
PROGRAMA NACIONAL DE FISCALIZACION  
DIVISION LEGAL  
DIRECTORIO DE TRANSPORTE PUBLICO METROPOLITANO  
DIRECTORIO DE TRANSPORTE PUBLICO METROPOLITANO – OFICINA DE PARTES  
SUBTRANS – OFICINA DE PARTES



Para verificar la validez de este documento debe escanear el código QR y descargar una copia del documento desde el Sistema de Gestión Documental.

550092

E102347/2022