

TESIS DE MAESTRÍA  
INGENIERÍA EN CALIDAD

Título:

“Medición de costos de No Calidad para el  
usuario de Subterráneos de Buenos Aires a través  
del enfoque de Taguchi”

Autor: Esp. Cintia Noemí García

Director de Tesis: Mg. Rubén Gurisatti

Buenos Aires - 2018



---

## **DEDICATORIA**

Al Mg. Ruben Gurisatti, por su valiosa guía y asesoramiento para elaborar esta tesis.

Al Ing. Fernando Aguirre, por su invaluable apoyo académico y personal.

A la Lic. Analía García y al Mg. Leandro Benítez, por sus importantes sugerencias para la realización de esta tesis.

A mi familia y amigos (especialmente mi madre, mis abuelos y mi hermana Sol) por ser ejemplos de perseverancia e inteligencia.



---

## ÍNDICE ALFABÉTICO

- accesibilidad, 35, 44
- cero defectos, 4, 19, 20
- CNCC, *véase* costos de no calidad sobre clientes
- costos de calidad, 1, 2, 4, 7, 11–13, 15, 19, 103
- costos de mala calidad, *véase* costos de no calidad
- costos de no calidad, 7, 10–13, 46
- directos, 1, 20, 78
  - indirectos, *véase* costos de no calidad sobre los clientes
  - Israel, 13, 15, 18
- costos de no calidad sobre clientes, 1, 17, 20, 26, 39, 51
- definición, 2, 19
  - fuentes, 4, 39, 40, 42, 43, 45, 46
  - Israel, 14, 17, 53, 58
  - perspectiva de calidad, 33, 34
  - perspectivas, 2
  - por hacinamiento, 96–98, 100, 101, 103, 104, 106–109, 112, 113
  - por interrupciones, 64, 66, 67, 69, 71, 73, 74, 106–109, 111, 113
  - rol del MSD, 51, 57
  - según Taguchi, 19, 22
  - servicios sustitutos, 4, 34, 37, 38, 41
- demoras, *véase* interrupciones
- externalidades, 3, 19, 43, 104
- frecuencia, 35, 38, 104, 113
- fuelle de CNCC, 38, 39, 45, 46
  - medición, 38
  - relación con hacinamiento, 38, 43
  - relación con interrupciones, 39
- Función de Pérdida de Calidad, 4, 17, 19, 22, 49, 53, 101, 103, 111
- modelo Mayor Mejor, 21
  - modelo Menor Mejor, 21, 51, 52, 57, 61, 73
  - modelo Nominal Mejor, 21, 75, 79, 91
- hacinamiento
- cálculo del MSD, 83, 91, 95–99, 102, 103
  - crowding multiplier, 43, 75, 80, 81, 103
  - densidad de pasajeros por  $m^2$ , 76, 77, 87–91, 101
  - determinación de  $k$ , 80, 82, 103
  - en Hora No Pico Mañana, 98, 99, 104
  - en Hora No Pico Tarde, 89, 98–100, 104
  - en Hora Pico Mañana, 89, 93, 97, 98, 101, 104, 106, 110
  - en Hora Pico Tarde, 43, 85, 89, 97, 98, 101, 104, 110
  - factor de carga, 76, 77
  - fuelle de CNCC, 25, 35, 42, 43, 46, 49, 111, 113
  - indicadores, 43
  - relación con interrupciones, 42, 43, 90, 104, 106, 108
  - relación con seguridad, 44
  - selección de target  $m$ , 75, 77–79, 86, 103
- Harrington, H. James, 1, 7, 9–11
- interrupciones
- relación con hacinamiento, 74
  - cálculo del MSD, 57, 62, 73
  - determinación de  $k$ , 52–54, 56, 73

- fuelle de CNCC, 4, 33, 35, 37, 38, 45, 46, 49, 51
- por conflictos gremiales, 57, 58, 63, 64, 66, 69, 70, 72–74, 107, 111, 112
- por fuerza mayor, 57–59, 65, 69, 71, 73, 74, 107, 111, 112
- probabilidad de ocurrencia, 107
- regulares, 57, 58, 62–64, 67–70, 73, 74, 105–112
- relación con hacinamiento, 42, 90, 106
- relación con tiempo de viaje, 39
- material rodante, 27, 28, 30, 76, 78, 87, 104
- Metrovías, 27, 32, 34, 35, 58, 63, 65, 67, 78
- pérdida para el cliente, *véase* costos de no calidad sobre clientes
- QLF, *véase* Función de Pérdida de Calidad
- robustez del servicio, 4, 17, 22, 57, 59, 63–66, 73, 93, 94, 96, 97, 99, 100, 102–104, 109–113
- satisfacción de pasajeros, 17, 25, 28, 39
  - encuestas, 35
  - fuentes, 33
  - limpieza, 41
  - nivel de quejas, 34
- SBASE, *véase* Subterráneos de Buenos Aires S.A.
- seguridad
  - fuelle de CNCC, 43, 44, 46, 49
  - indicadores, 43
- subterráneos, 5
  - Buenos Aires, 4, 17, 27, 28, 45, 46, 49, 53, 66, 77, 81
  - Estocolmo, 77
  - Hong Kong, 77
  - Londres, 37, 77
  - Madrid, 43, 78
  - París, 77
  - Santiago de Chile, 44, 77, 80
  - Tokio, 29
  - Subterráneos de Buenos Aires S.A., 27, 58, 62, 63, 65, 67, 69, 78
  - Taguchi, Genichi, 3, 17, 19, 21, 56, 75, 104, 111
  - transporte público, 4, 17, 25, 52
    - alternativas al subte, 30
    - medición de desempeño, 33
  - valor de ahorros en tiempo de viaje
    - para hacinamiento, 75, 80, 81, 103
    - para interrupciones, 54, 73, 81
  - VATV, *véase* valor de ahorros en tiempo de viaje

---

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Capítulo I: Planteo del Problema</b>	<b>1</b>
Introducción . . . . .	1
Descripción del problema . . . . .	4
Hipótesis . . . . .	5
Objetivo de la investigación . . . . .	5
<b>Capítulo II: Los Costos de No Calidad</b>	<b>7</b>
Enfoque organizacional . . . . .	7
Evolución histórica del concepto . . . . .	7
Consenso actual . . . . .	11
Enfoque sectorial . . . . .	13
Antecedentes de estudios gubernamentales . . . . .	13
La experiencia israelí . . . . .	13
<b>Capítulo III: La Función de Pérdida de Calidad</b>	<b>19</b>
Un nuevo paradigma de calidad . . . . .	19
Los tres Modelos propuestos por Taguchi . . . . .	21
<b>Capítulo IV: Metodología y Métodos</b>	<b>25</b>
Antecedentes en la medición de calidad de los servicios públicos de transporte . . . . .	25
Metodología propuesta . . . . .	25
<b>Capítulo V: Caracterización de los Subterráneos de Buenos Aires</b>	<b>27</b>
Breve reseña histórica . . . . .	27
Estado actual de la Red de Subterráneos . . . . .	27
Descripción del Material Rodante . . . . .	28
Perspectivas futuras . . . . .	30
Clientes . . . . .	31
Proveedores . . . . .	31
Nuevos competidores . . . . .	32
Productos Sustitutos . . . . .	32
Rivalidad entre Competidores . . . . .	32
Perspectivas en los indicadores de desempeño . . . . .	33

<b>Capítulo VI: Fuentes de Costos de No Calidad para el Cliente</b>	<b>37</b>
Análisis bibliográfico de fuentes . . . . .	37
Interrupciones . . . . .	37
Frecuencia programada . . . . .	38
Tiempo de viaje . . . . .	39
Cobertura Geográfica . . . . .	39
Limpieza . . . . .	41
Comodidad . . . . .	42
Seguridad . . . . .	43
Información Disponible . . . . .	44
Accesibilidad . . . . .	44
Selección de Fuentes de CNCC . . . . .	45
Ponderación de fuentes de CNCC por usuarios . . . . .	45
Evidencia fáctica de existencia de fuentes . . . . .	46
<b>Capítulo VII: Función de Pérdida de Calidad (QLF) para Interrupciones</b>	<b>51</b>
Selección del Modelo . . . . .	51
Definición del valor de $k$ . . . . .	51
Determinación de $y_0^2$ . . . . .	52
Determinación de $A_0$ . . . . .	53
Definición del Error Cuadrático Medio o $MSD$ . . . . .	57
Escenarios a medir . . . . .	57
Conformación de escenarios . . . . .	59
Medición de Escenarios . . . . .	61
$L$ bajo Escenario 1 . . . . .	62
$L$ bajo Escenario 2 . . . . .	63
$L$ bajo Escenario 3 . . . . .	65
Análisis de resultados . . . . .	66
Resultados por Escenario . . . . .	66
Resultados por Línea . . . . .	69
Conclusiones . . . . .	73
<b>Capítulo VIII: Función de Pérdida de Calidad (QLF) para hacinamiento</b>	<b>75</b>
Selección del Modelo . . . . .	75
Definición del target $m$ . . . . .	76
Selección de la variable de medición . . . . .	76



Selección del valor de $m$ . . . . .	77
Definición del valor de $k$ . . . . .	79
Determinación de $\Delta_0^2$ . . . . .	80
Determinación de $A_0$ . . . . .	80
Obtención del indicador $p/m^2$ por día y por línea de Subterráneo . . . . .	83
Elección de escenarios . . . . .	83
Pasajeros totales por hora . . . . .	84
Capacidad por hora . . . . .	87
Estimación de $p/m^2$ . . . . .	88
Definición del Error Cuadrático Medio o $MSD$ . . . . .	91
Descripción de la medición global del servicio . . . . .	93
Descripción de la medición particular por línea . . . . .	94
Medición del MSD por escenario . . . . .	95
$L$ bajo Escenario de Hora Pico (HPM y HPT) . . . . .	95
$L$ bajo Escenarios de Hora No Pico (HNPM y HNPT) . . . . .	98
Análisis de resultados . . . . .	100
Conclusiones . . . . .	103
<b>Capítulo IX: Contextualización de los resultados</b>	<b>105</b>
<b>Capítulo X: Conclusiones finales</b>	<b>111</b>
<b>Referencias</b>	<b>115</b>
<b>Apéndices</b>	<b>121</b>
Apéndice A: Caracterización de los Subterráneos de Buenos Aires . . . . .	121
Apéndice B: Función de Pérdida de Taguchi (QLF) para Interrupciones . . . . .	122
Apéndice C: Función de Pérdida de Taguchi (QLF) para Hacinamiento . . . . .	125
Apéndice D: Contextualización de resultados . . . . .	131



---

## LISTA DE TABLAS

1.	Costes típicos de la Mala Calidad y su clasificación . . . . .	2
2.	Factores de Costo de Calidad y su composición a nivel organizacional . . . . .	10
3.	Metodología utilizada para medir los Costos de No Calidad en la Economía según segmento. . . . .	17
4.	Características del material rodante de la red de Subterráneos de Buenos Aires (Mayo 2017) . . . . .	31
5.	Indicadores a analizar como posibles Fuentes de CNCC. . . . .	35
6.	Pasajeros Pagos Transportados por Línea de Subterráneo (en miles), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2013. . . . .	40
7.	Valores de Ahorros de Tiempo de Viaje Recomendados ( % ingreso por persona y por hora) . . . . .	55
8.	Perfil de Usuario de Línea según su lugar de residencia (Marzo 2017) . . . . .	56
9.	Tipos de Interrupciones Regulares (Escenario 1) . . . . .	60
10.	Tipos de Interrupciones por Conflictos Gremiales (Escenario 2) y por Fuerza Mayor (Escenario 3) . . . . .	61
11.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 1 . . . . .	63
12.	Pérdida $L$ por interrupción bajo Escenario 1 ( $L_1$ ) . . . . .	63
13.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 2 . . . . .	64
14.	Pérdida $L$ por interrupción bajo Escenario 2 ( $L_2$ ) . . . . .	65
15.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 3 . . . . .	66
16.	Pérdida $L$ por interrupción bajo Escenario 3 ( $L_3$ ) . . . . .	66
17.	Porcentaje de Interrupciones por Fallas en Coche (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016) . . . . .	69
18.	Porcentaje de Interrupciones por fallas en Instalaciones (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016) . . . . .	69
19.	Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 1 (2012-2016) . . . . .	70
20.	Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 2 (2012-2016) . . . . .	70
21.	Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 3 (2012-2016) . . . . .	71
22.	Cálculo del indicador $p/m^2$ para un escenario de 100 pasajeros en un coche de Línea A y de Línea C . . . . .	76
23.	Capacidad declarada por coche según el Plan de Material Rodante de Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires . . . . .	79
24.	Listado de las Cabeceras de las Líneas de Subte en Buenos Aires . . . . .	84

25.	Porcentaje de pasajeros que viajan a las cabeceras de referencia, segmentado por los intervalos de tiempo seleccionados . . . . .	85
26.	Porcentaje de pasajeros que provienen de combinaciones, segmentado por línea y por intervalo de tiempo . . . . .	86
27.	Capacidad en $m^2$ por coche para pasajeros parados, segmentado por línea y por tipo de flota (Enero-Marzo 2017) . . . . .	88
28.	Cantidad de Pasajeros por $m^2$ en Hora Pico Mañana (8 a 9 am) para el conjunto de las líneas de subterráneos . . . . .	94
29.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) según la cantidad promedio de pasajeros por $m^2$ informados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires . . . . .	94
30.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HPM (Enero a Marzo 2017) . . . . .	96
31.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HPT (Enero a Marzo 2017) . . . . .	96
32.	Pérdida $L$ por hacinamiento bajo Escenario HPM y HPT . . . . .	97
33.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HNPM (Enero a Marzo 2017) . . . . .	98
34.	Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HNPT (Enero a Marzo 2017) . . . . .	98
35.	Pérdida $L$ por hacinamiento bajo Escenario HNPM y HNPT . . . . .	99
36.	Frecuencia y probabilidad de experimentar una interrupción en un viaje durante Hora Pico (8 a 9 a.m. y 6 a 7 p.m.) durante el primer trimestre del 2017, segmentado por línea y por Escenario . . . . .	107
A1.	Nivel de satisfacción global: Comparativo septiembre 2012 - septiembre 2017 . . . . .	121
A2.	Nivel de satisfacción por variable: Comparativo septiembre 2012 - septiembre 2017 . . . . .	121
A3.	Cantidad de asientos disponibles por flota (Mayo 2017) . . . . .	122
B1.	Porcentaje de Interrupciones en Fallas Operativas (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016) . . . . .	122
B2.	Ejemplos de Descripción de Interrupciones por fuerza mayor según SBASE (Enero 2012-Marzo 2017) . . . . .	123
B3.	Costo Total de Interrupciones por Escenario, año y línea (2012-2016), en función a la cantidad total de viajes con interrupciones por año. . . . .	124
C1.	Total de Pasajeros por hora, dirección y línea (2014) . . . . .	125
C2.	Línea A: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	126

---

C3.	Línea B: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	127
C4.	Línea C: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	127
C5.	Línea D: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	128
C6.	Línea E: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	129
C7.	Línea H: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014) . . . . .	129
C8.	<i>L</i> por hacinamiento para Enero y Febrero 2017, segmentado por línea y por escenario	130
C9.	<i>L</i> por hacinamiento para Marzo 2017, segmentado por línea y por escenario . . . .	130
D1.	Costos de no calidad por viaje para un pasajero típico, segmentado por línea e intervalo de tiempo (2017) . . . . .	131
D2.	Costos de no calidad mensuales durante el primer trimestre 2017 para un pasajero típico (segmentado por línea y por fuente de CNCC) y el porcentaje que representa dicho costo sobre los ingresos medios mensuales de CABA y GBA . . . . .	131



## LISTA DE FIGURAS

1.	Sistema Complementario de Reducción de Costes . . . . .	8
2.	Efecto de la variación de los Costes Controlables de la Mala Calidad. . . . .	9
3.	Impacto de los Costos de Mala Calidad del Cliente sobre el Punto Óptimo Operativo Provisional . . . . .	12
4.	Niveles de costos de calidad en la Economía. . . . .	14
5.	Representación gráfica del criterio “Cero Defectos” . . . . .	19
6.	Representación gráfica del Modelo “Nominal Mejor” y del límite funcional del producto $\Delta_0$ y el costo de su contramedida $A_0$ . . . . .	20
7.	Representación gráfica de la obtención del target $m$ y su relación con el costo de producción y el costo de calidad . . . . .	21
8.	Representación gráfica del Modelo “Menor Mejor” . . . . .	23
9.	Representación gráfica del Modelo “Mayor Mejor” . . . . .	23
10.	Evolución de la cantidad anual de pasajeros pagos de Subterráneos (2010-2017) . . . . .	28
11.	Evolución de la extensión en kilómetros de las líneas de Subterráneos (1995-2017). . . . .	29
12.	Evolución de la cantidad de estaciones de Subterráneos (1995-2017). . . . .	30
13.	Cruz de Porter del Transporte Público en Subterráneos . . . . .	32
14.	Pasajeros pagos transportados en Línea A y Línea C. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Enero-Febrero de 2010 a 2017. . . . .	41
15.	Aspectos del servicio de Subterráneo con mayor prioridad para los usuarios . . . . .	45
16.	Horas totales de interrupciones en Subterráneos de Buenos Aires (2012-2016). . . . .	47
17.	Porcentaje de satisfacción con el servicio de Subterráneo (2017) . . . . .	48
18.	Correlación entre el porcentaje de víctimas de delitos y la satisfacción con el indicador “seguridad” . . . . .	49
19.	Correlación entre el porcentaje de víctimas de delitos y la satisfacción global con el servicio . . . . .	50
20.	Pérdida $L$ por interrupción, segmentado por año y por Escenario (2012-2017) . . . . .	67
21.	Cantidad total de horas de interrupciones por año para el Escenario 1, excluyendo PM (2012-2016) . . . . .	68
22.	Sumatoria del costo de interrupciones para los tres escenarios, segmentado por año y por línea (2012-2016) . . . . .	72
23.	Percepción de comfort de los pasajeros encuestados para una densidad de $2 p/m^2$ . . . . .	81
24.	Percepción de comfort de los pasajeros encuestados para una densidad de $4 p/m^2$ . . . . .	82
25.	Promedio de $p/m^2$ (Enero y Febrero 2017) . . . . .	89

26.	Promedio de $p/m^2$ (Marzo 2017) . . . . .	90
27.	Hacinamiento diario en Línea D durante Febrero 2017 (8 a 9 a.m) . . . . .	91
28.	Hacinamiento diario en Línea B durante Marzo 2017 (8 a 9 a.m) . . . . .	92
29.	Hacinamiento diario en Línea C durante Enero 2017 (6 a 7 p.m) . . . . .	92
30.	$L$ para Enero y Febrero 2017, segmentado por línea y por escenario . . . . .	100
31.	$L$ para Marzo 2017, segmentado por línea y por escenario . . . . .	101
32.	$\sigma^2$ para Enero a Marzo 2017 y $\bar{\sigma}^2$ del trimestre . . . . .	102
33.	Pérdida $L$ para un pasajero durante la Hora Pico Mañana en escenarios con y sin interrupciones (Marzo 2017) . . . . .	105
34.	Pérdida $L$ para un pasajero durante la Hora Pico Tarde en escenarios con y sin interrupciones (Marzo 2017) . . . . .	106
35.	CNCC mensual por línea durante Hora Pico y su impacto en los ingresos mensuales medios por hogar del 2017 en Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires. . . . .	108



---

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AGCBA** Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires. 31, 88, 122
- ASQ** American Society for Quality. 1
- CABA** Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 4, 5, 9, 11, 13, 14, 26, 27, 32, 40, 41, 55, 107–109, 113, 131
- CEN** Comité Europeo de Estandarización. 25
- CMC** Costos de Mala Calidad. 7, 10–13
- CNCC** Costos de No Calidad sobre los Clientes. 2–6, 9, 11, 13, 14, 17, 19, 22, 25, 26, 33–35, 37, 39, 40, 42–46, 49, 51, 53, 54, 57–59, 62, 64, 66, 67, 69–75, 77, 86, 91, 93, 96–98, 100, 103–113, 131
- CNRT** Comisión Nacional de Regulación del Transporte. 26, 28, 40, 41, 44
- CTCBA** Corporación de Transportes de la Ciudad de Buenos Aires. 27
- EFQM** European Foundation for Quality Management. 13
- EPH** Encuesta Permanente de Hogares. 55, 107
- GBA** Gran Buenos Aires. 11, 14, 55, 107–109, 131
- GCBA** Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. 4, 9, 10, 17, 27, 30, 34, 48, 78, 79, 93, 94, 113, 121, 123
- GEE** General Eléctrica Española. 30, 88
- HNPM** Hora No Pico Mañana. 7, 10, 84, 86, 87, 95, 98, 99, 101, 104, 112
- HNPT** Hora No Pico Tarde. 7, 10, 84, 86, 87, 89, 95, 98–101, 104, 112
- HPM** Hora Pico Mañana. 7, 10, 14, 83, 84, 86, 87, 89–91, 93–98, 101, 103–107, 109, 110, 112, 131
- HPT** Hora Pico Tarde. 7, 10, 14, 83–87, 89, 91, 94–98, 101, 104–107, 109, 110, 112, 131
- INDEC** Instituto Nacional de Estadística y Censos. 26, 55
- ITF** Ingreso Total Familiar. 55, 56

**LIC** Límite Inferior de Control. 19

**LOS** Level of Service. 39

**LSC** Límite Superior de Control. 19

**MSD** Mean-Squared Deviation. 7, 9, 10, 21, 51, 53, 57, 59, 61–66, 73, 83, 88, 90, 91, 93–99, 103, 112

**PAF** Prevention-Appraisal-Failure. 11

**PBI** Producto Bruto Interno. 3

**PM** Premetro. 9, 10, 13, 27–29, 46, 59, 61, 67–72, 74, 79, 86, 87, 108, 110, 112, 122

**PNB** Producto Nacional Bruto. 3

**QLF** Quality Loss Function. 4, 7, 17, 19–22, 25, 26, 49, 51, 73, 75, 101, 103, 122, 125

**SBASE** Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. 10, 26, 27, 31, 58–60, 62, 63, 65, 67, 69, 78, 83–88, 90, 95, 122, 123, 125–129

**SECPECG** Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión. 93, 94

**STB** Smaller-the-better. 51, 52, 73

**TRB** Transportation Research Board. 25

**VATV** Valor de los Ahorros en Tiempo de Viaje. 54, 73, 75, 80, 81, 103

---

## RESUMEN

En el marco de políticas públicas impulsadas por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires para fomentar la utilización del transporte público, la satisfacción de los usuarios con el servicio constituye un factor clave para su éxito. Por ello, la presente tesis propone una metodología basada en la Función de Pérdida de Calidad (QLF) de Genichi Taguchi para cuantificar monetariamente el costo en que deben incurrir los pasajeros de los subterráneos de Buenos Aires ante deficiencias del servicio. Siendo el hacinamiento y las interrupciones las dos características de calidad de mayor ponderación para los pasajeros, se procedió a medir los Costos de No Calidad sobre el Cliente (CNCC) diseñando una QLF para cada variable. Los resultados permiten vislumbrar el grado de robustez del servicio y el impacto monetario que tienen las distintas características de calidad sobre el ingreso monetario mensual de sus usuarios.

**Palabras clave** Costos de No Calidad sobre el Cliente, CNCC, Error Cuadrático Medio, Función de Pérdida de Calidad, Genichi Taguchi, Hacinamiento, Interrupciones, Metrovías, MSD, QLF, SBASE, Subterráneos, Transporte Público.



---

# CAPÍTULO I

## PLANTEO DEL PROBLEMA

### Introducción

Según la American Society for Quality (ASQ), los costos de calidad representan la diferencia entre el costo real de un producto o servicio y el costo reducido que surgiría si no existiera la posibilidad de un servicio por debajo de los estándares, una falla en el producto o defectos en el proceso de manufactura (Wood, 2014). European Commission (1995) entiende por costos relacionados con la calidad a:

- Costos de calidad: prevención y evaluación.
- Costos de no calidad directos: fallas internas y externas.
- Costos de no calidad indirectos: por los gastos en los que incurre el cliente, por la insatisfacción del mismo y por la pérdida de reputación (Harrington, 1990).

Con el objetivo de ilustrar las distintas manifestaciones de los costos de calidad, se describe el siguiente ejemplo expuesto por Harrington en su libro “Los Costos de la Mala Calidad” (1990). Un cliente compra un televisor pero el mismo falla al segundo día de uso, por lo que debe acudir a un servicio técnico oficial y hacer uso de la garantía vigente. El servicio técnico retiene el televisor algunos días hasta identificar la causa de la falla; se determina que se debe reemplazar una pieza importada, de la cual no hay stock inmediato. En consecuencia, el cliente debe esperar una semana hasta que la pieza sea reemplazada y pueda retirar el televisor del servicio técnico. ¿Cuáles son los costos de calidad identificados en el ejemplo precedente?:

- Costos de no calidad directos (falla externa): la falla no fue detectada por las inspecciones de fábrica, sino por el cliente. La organización deberá incurrir en el costo que se deriva del servicio de garantía, por ejemplo, el costo de la nueva pieza, mano de obra y mantenimiento del establecimiento de servicio técnico.
- Costos de no calidad indirectos para el cliente: a pesar de estar cubierto por la garantía, el cliente incurrirá en costos de no calidad. Como ejemplos, se menciona al costo de transporte hasta el servicio técnico, costo por no poder disponer del producto.
- Costos de no calidad indirectos para la organización: la falla externa originará insatisfacción del cliente y la pérdida de reputación, con la consecuente pérdida de futuras ventas y caída de la facturación.

Asimismo, se deben considerar los costos de calidad existentes por las actividades de prevención e inspección que desarrolla la organización; las mismas no fueron suficientes para evitar que un producto defectuoso llegue al cliente. En conclusión, se vislumbra que una simple falla en un producto genera un efecto cascada sobre la organización y sus clientes, los cuales incurrirán en

costos ocultos. En la Tabla 1, se incluyen ejemplos adicionales de cada una de las categorías de costos de calidad, con el fin de ilustrar la diversidad de fuentes.

Tabla 1  
*Costes típicos de la Mala Calidad y su clasificación*

Prevención	Evaluación	Fallas Internas	Fallas Externas	Indirectos (sobre el cliente)
Planificación de Ensayos y Auditorías de Calidad	Auditorías del Sistema de Calidad	Desechos y reprocesos	Salarios del personal de reparaciones	Gastos de transporte por reparación
Análisis de fallos	Evaluación de desempeño del personal	Horas extras por fallas	Análisis de garantía	Pérdida de horas de trabajo
Mantenimiento preventivo	Controles del proceso	Reinspección por rechazos	Reinspección y repetición de ensayos	Costos de reparación (sin garantía)
Preparación de manuales operativos	Materiales de ensayo e inspección	Acciones correctivas	Retirada de productos (recalls)	Necesidad de disponer de equipo de reserva
Formación de empleados	Inspección y ensayo de prototipos	Accidentes y lesiones	Tratamiento de materiales devueltos	Pérdida de ventas

*Nota Fuente: Harrington, H.J. (1990). El Coste de la Mala Calidad. Madrid: Díaz de Santos, S.A.*

En este sentido, numerosos estudios dan cuenta del enorme impacto de los costos relacionados a la calidad sobre la economía y sus sectores. Sin embargo, su medición ha representado un desafío para organizaciones y gobiernos por igual. Por un lado, sus fuentes son heterogéneas y dependen de las características de los agentes económicos. En consecuencia, las organizaciones utilizan sistemas flexibles y adaptados para registrar sus costos, dificultando aún más la agregación de los datos a nivel sectorial o regional (Halevy & Naveh, 2000).

Por otro lado, los costos indirectos de no calidad, llamados Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) en este trabajo, no son medidos ni registrados por las organizaciones que los generan. Se originan por productos o servicios defectuosos e impactan directamente en los consumidores y la sociedad. Si bien la organización deberá hacerse cargo de gastos por garantía y servicio postventa, registrados como costos por Fallas Externas, los gastos extras para los individuos se expresan en pérdidas monetarias o de días de trabajo (Naveh & Halevy, 1999). Estos representan los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC).

El problema de los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) ha sido abordado desde numerosas perspectivas:

---

- Ambiental: referido a los CNCC que provocan contaminación y uso ineficiente de los recursos.

- Social: impacto sobre el bienestar, la salud y la satisfacción de los clientes.

- Histórica: Evolución del concepto “costo de no calidad”.

- Económica: generación de equilibrios subóptimos, impacto sobre el PNB, PBI y otros indicadores. Calidad en monopolios y oligopolios. Impacto sobre la composición del gasto de los hogares.

- Productiva: diseño de procesos que reduzcan las CNCC, mantenimiento preventivo, tasa de fallas, scrap y costo por reproceso. Aumento del ausentismo y reducción de horas trabajadas. Desperdicio de recursos humanos.

- Estadística: diseño de experimentos, fijación de parámetros, tolerancias permitidas.

- Marketing: pérdida de reputación y fidelidad de consumidores.

- Contable: sistemas de registración de costos de no calidad.

- Normativa: el rol de la estandarización y reglamentos técnicos para reducir los costos de no calidad.

- Políticas Públicas: difusión y financiación de programas de mejora de la calidad y productividad.

- Administración: planificación e implementación de programas y proyectos para eliminar Costos de No Calidad sobre los Clientes en las organizaciones. Medición y seguimiento de indicadores de costos de no calidad.

Considerando que los CNCC no son medidos ni asumidos por los productores (y por lo tanto, no se reflejan en el precio), se afirma que los mismos se asimilan al concepto de externalidades negativas. La definición de Externalidad es la siguiente:

Los efectos indirectos de transacciones que tienen un impacto en las oportunidades de consumo y producción de otros, pero el precio del producto no considera dichas externalidades. Como resultado, existen diferencias entre los retornos o costos privados y los retornos o costos de la sociedad en su conjunto. (Helbling, 2010)

Cuando el impacto se manifiesta como un costo para otros, se verifican externalidades negativas. Dado que los CNCC afectan las oportunidades de consumo de la sociedad en su conjunto, pueden ser considerados como un tipo de externalidad negativa. Al igual que los CNCC, la principal barrera para incorporar las externalidades al análisis económico de políticas públicas o decisiones organizacionales es la dificultad para valorarlas monetariamente (Delacámara, 2008).

De forma similar, Genichi Taguchi (1986) define a la Calidad como la pérdida que un producto o servicio genera en la sociedad luego de ser despachado. La pérdida se origina debido a que el producto o servicio no logra cumplir plenamente con sus características funcionales (Chao-Ton,

2013). La variabilidad en el funcionamiento de los productos y sus componentes aumenta la probabilidad de fallas (Taguchi & Clausing, 1990). Similarmente, la visión tradicional “Cero Defectos” deriva en decisiones subóptimas (Ganeshan, Kulkarni, & Boone, 2001). Con el objetivo de medir el impacto monetario de esta variabilidad, Taguchi desarrolla la Función de Pérdida de Calidad (QLF, por sus siglas en inglés). La misma permite obtener resultados útiles de forma rápida y a bajo costo.

### **Descripción del problema**

En este contexto, se reconoce la existencia de un sistema de amplio impacto social y reconocida variabilidad en su funcionamiento: el sistema de transporte público de pasajeros en subterráneos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El rol del subterráneo y su calidad de funcionamiento se constituye como un elemento clave en el marco de fuertes políticas públicas desde el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA) para incentivar el uso del transporte público en detrimento de la utilización del automóvil particular.

Sin embargo, las diversas fallas de calidad en el servicio originan Costos de No Calidad sobre los Clientes, es decir, sobre los pasajeros. Por ejemplo, las interrupciones (demoras) implican que no se está cumpliendo con el cronograma establecido (Kimpel y Strathman et al. citado por Eboli y Mazzulla, 2012) y, por lo tanto, con las características del servicio que son anunciadas. En consecuencia, las fallas de calidad originan diversas fuentes de CNCC para los pasajeros, los cuales deben incurrir en mayor tiempo de viaje y de espera (Wilson et al. y Strathman et al. citado por Eboli y Mazzulla, 2012).

Considerando que la generación de CNCC por fallas de calidad en el servicio puede derivar en la pérdida de pasajeros (El-Geneidy et al. citado por Eboli y Mazzulla, 2012), los cuales optarían por servicios sustitutos como el automóvil, se hace imprescindible contar con información precisa sobre la magnitud de tales costos.

Por lo tanto, se destaca la importancia de la realización de estudios para medir la calidad del servicio, así como los beneficios o perjuicios que conllevan en los consumidores. Considerando el impacto de los costos de no calidad sobre los usuarios del servicio de subterráneos y, en consecuencia, sobre la sociedad en su conjunto, se vislumbra la necesidad de desarrollar un enfoque novedoso para realizar su medición sectorial de manera eficiente y precisa. La QLF ha sido aplicada principalmente desde una perspectiva productiva, ya sea para optimizar stock o seleccionar el diseño de producto más robusto. Sin embargo, en este trabajo se propondrá su utilización como una herramienta eficaz para medir los CNCC en el sector enunciado.

Asimismo, se tendrá en cuenta la evolución histórica del concepto “costo de calidad” y su rol desde una perspectiva económica y social; se excluirá cualquier tipo de método contable, ya que los



---

CNCC se caracterizan precisamente por la imposibilidad de ser contabilizados. Cabe destacar que tampoco se abordará el impacto ambiental que tienen los CNCC, sino las consecuencias sociales y económicas sobre los consumidores y, por lo tanto, sobre la sociedad en su conjunto.

### **Hipótesis**

Las deficiencias de calidad en el servicio de transporte público de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) generan costos sobre los usuarios factibles de ser cuantificados monetariamente.

### **Objetivo de la investigación**

Por lo enunciado, el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una metodología para cuantificar Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) generados por el Sector Transporte Público de Pasajeros por subterráneos y su medición en el ámbito de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



---

## CAPÍTULO II

### LOS COSTOS DE NO CALIDAD

#### Enfoque organizacional

**Evolución histórica del concepto.** Durante la década de 1950, se registra el surgimiento del concepto “Costo de la Calidad”. Fue Joseph Juran (1951) quién lo introdujo en su famosa analogía sobre “El Oro en la Mina” en su libro cumbre “Quality Control Handbook” (Wood, 2014). El oro en cuestión son los costos evitables que se producen por los desperdicios en la producción y la inexistencia de Calidad Total. En 1961, Armand V. Feigenbaum describió la existencia de tres tipos de costos de calidad en su libro “Total Quality Control” (Harrington, 1990): (a) Desarrollo del sistema de calidad, (b) Inspección de los productos y (c) Costos por fallas de producto. Con estos parámetros, creó un modelo para medir y administrar los costos de calidad en las organizaciones (Halevy & Naveh, 2000). Los resultados se reflejaban en informes expresados en unidades monetarias (Harrington, 1990), a fin de crear un lenguaje común con los directivos y así difundir la importancia de establecer sistemas de Calidad Total (Halevy & Naveh, 2000). De acuerdo a Harrington (1990), la utilización del término Costo de la Calidad (en lugar de “costo de no calidad”) reforzó el erróneo paradigma de que, a mayor calidad, mayores son los costos de producción.

A partir de la década del 60’ y hasta el 70’, se midieron solo los costos de calidad originados en los procesos de fabricación y garantía, excluyendo así a dos importantes fuentes: costos de calidad soportados por el cliente y los creados por errores administrativos. Fue recién durante los años 70’ y 80’ que el viejo paradigma de “a mayor calidad, mayores costos de producción” comenzó a ceder ante la evidencia de los mercados internacionales. Efectivamente, los productos de calidad otorgaban mayor rendimiento de la inversión e incrementaban el *market share* (Harrington, 1990). Con esta nueva información, Harrington (1990) desarrolló una nueva clasificación bajo el nombre Costos de Mala Calidad (CMC):

1. Costos directos de la Mala Calidad:

a) Controlables

- 1) Prevención.
- 2) Evaluación.

b) Resultantes

- 1) Errores internos.
- 2) Errores externos.

c) Mala Calidad del Equipo.

2. Costos Indirectos de la Mala Calidad:

- a) Del Cliente: Por los gastos en los que incurre el cliente.
- b) Por la insatisfacción del cliente.
- c) Por la pérdida de reputación.

Los Costos Controlables son aquellos “(...) en que incurre una empresa porque la dirección teme que las personas cometan errores” (Harrington,1990, p.7). Se clasifican en (a) Costos de Prevención y (b) Costos de Evaluación.

Los Costos de Prevención son considerados una inversión a futuro para la organización, ya que reducen la cantidad de errores totales. Incluyen capacitaciones, el desarrollo y mantenimiento de un Sistema de Gestión de Calidad, análisis de proveedores, identificación de causa-raíz, análisis de riesgo, entre otros. Sin embargo, estas acciones preventivas no pueden eliminar la totalidad de los errores; por ello, es necesario que la organización incurra en costos de Evaluación para detectarlos antes de que generen costos adicionales. Comprenden inspecciones y ensayos sobre productos terminados y en proceso, así como la realización de auditorías del proceso para asegurarse de que se están cumpliendo los procedimientos establecidos.

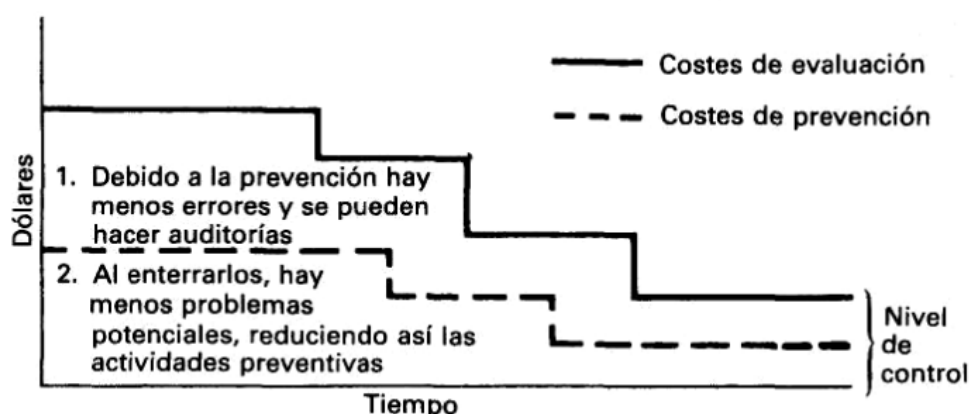


Figura 1.

Sistema Complementario de Reducción de Costes. **Nota** Fuente: Harrington, H.J. (1990). *El Coste de la Mala Calidad*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.

El objetivo, ya sea en la Prevención o en la Evaluación, es evitar que productos o servicios defectuosos sean entregados a los clientes. El costo de entregar un producto o servicio defectuoso es siempre mayor que el costo de evaluarlo. En otras palabras, los costos de Evaluación no disminuyen la cantidad total de errores pero sí reducen su costo, ya que evitan que lleguen al cliente. Al mismo tiempo, los costos de Prevención son menores a los costos de Evaluación, ya que también permiten reducir la cantidad total de errores. Como se desprende de la Figura 1, los costos de Evaluación y Prevención se retroalimentan y configuran un Sistema Complementario de Reducción de Costes (Harrington, 1990). A partir de la Evaluación, se detectan errores que serán analizados y

eliminados de raíz con herramientas preventivas, tales como la definición de nuevos procedimientos o capacitaciones. Asimismo, los costos de Prevención reducen los errores, con lo que permiten disminuir la frecuencia y complejidad de las acciones de Evaluación.

Por otro lado, los costos Resultantes son aquellos “(...) en que se incurre porque las personas sí que cometen errores” (Harrington,1990, p.7). Comprenden la detección de errores de forma interna o, en el peor de los casos, errores detectados por los clientes. El primer caso se refiere a los costos por Errores Internos, los cuales suelen ser detectados durante las actividades de Evaluación. En cambio, los Errores Externos son detectados por el cliente, por lo que tienen un impacto mucho más perjudicial para la organización.

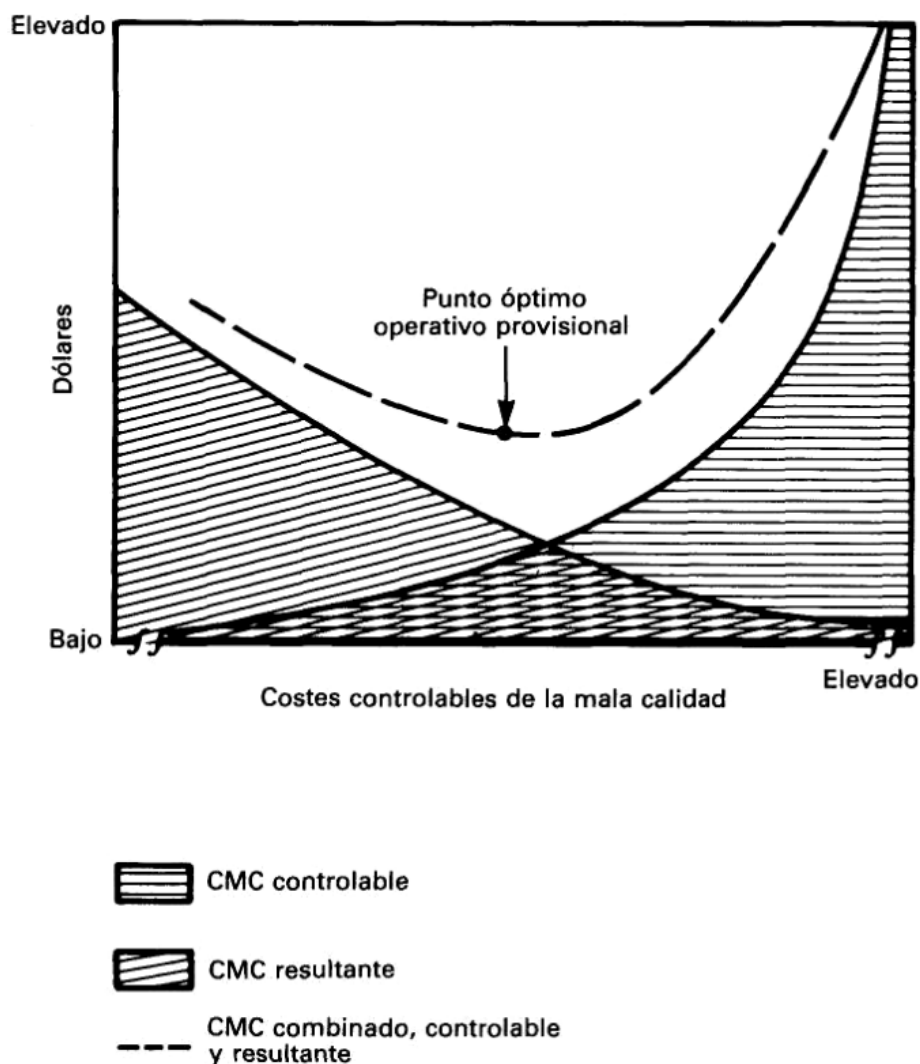


Figura 2.

Efecto de la variación de los Costes Controlables de la Mala Calidad. **Nota** Fuente: Harrington, H.J. (1990). *El Coste de la Mala Calidad*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.

¿Esto significa que es necesario aumentar los costos de Prevención y Evaluación al máximo? En la Figura 2, Harrington (1990) demuestra que existe un Punto Óptimo Operativo Provisional

donde se minimizan los Costos Directos de la Mala Calidad. En efecto, los CMC Controlables disminuyen los CMC Resultantes y, en consecuencia, el CMC combinado. Sin embargo, una vez superado el Punto de Equilibrio, cualquier aumento marginal de los CMC controlables será mayor a la disminución marginal provocada en los CMC resultantes, por lo que el CMC combinado aumenta.

Tabla 2

*Factores de Costo de Calidad y su composición a nivel organizacional*

Factores Primarios	Factores Secundarios	Items de costos: costos que se originan por... (por ejemplo)
Infraestructura y mantenimiento de la calidad (procesos dentro de una organización)	Sistema de Calidad	Establecimiento y mantenimiento de sistemas de calidad (tal como ISO 9000), preparación y actualización de procedimientos, capacitación de trabajadores, ensayos de calidad, establecimiento y operación de sistemas de información de calidad.
	Inspección Final y En Proceso	Evaluación de calidad en productos y servicios
	Calibración de los equipos de medición	El establecimiento, operación y mantenimiento de un sistema de calibración de equipos de ensayo.
	Aseguramiento de la Calidad de Proveedores e inspecciones de recepción	Actividades para el aseguramiento de la calidad de los proveedores, como controles de calidad a proveedores (prevención), inspecciones de recepción, inspecciones de fuente

**Nota Fuente:** Adaptado de Halevy, A., y Naveh, E. (2000). *Measuring and reducing the national cost of non-quality. Total Quality Management, 11 (8), 1095-1110.*

Además de los costos Controlables y Resultantes, Harrington (1990) introduce dos nuevas categorías de CMC. La primera se refiere a los costos relacionados con los equipos de medición y mantenimiento de la calidad del producto o servicio. Estos incluyen el costo de inversión en, por ejemplo, micrómetros y calibres pero también en computadoras e impresoras. Si bien Harrington lo enuncia como una categoría particular, la mayoría de los autores que abordan el tema de Costos de No Calidad incluyen a estos conceptos dentro de las categorías tradicionales de costos de Prevención y/o de Evaluación. Por ejemplo, Naveh y Halevy (1999), en su influyente investigación sobre los costos de no calidad en Israel, respetan la clasificación definida por Feingenbaum (citado por Naveh y Halevy, 1999) y exponen a la adquisición y mantenimiento (incluyendo su calibración) de equipos de medición como un costo de infraestructura y mantenimiento de la calidad (ver Tabla 1).

---

La segunda categoría de CMC presentada por Harrington se refiere a los Costos Indirectos de la Mala Calidad:

1. Por los gastos en los que incurre el cliente (son costos directos para el cliente).
2. Por la insatisfacción del cliente (son costos indirectos para la organización).
3. Por la pérdida de reputación (son costos indirectos para la organización).

Mientras que los costos directos representan el impacto de la mala calidad para la organización, los costos indirectos miden el efecto que la mala calidad tiene el consumidor. No obstante, los gastos en los que tiene que incurrir el consumidor por las fallas de calidad originarán costos ocultos para la organización, ya que un cliente insatisfecho y la pérdida de reputación deriva en menores ventas. Algunos ejemplos de CMC del cliente son lucro cesante por falta de disponibilidad del producto/servicio, gastos de desplazamiento y tiempo hasta el servicio de garantía, costos por reparación cuando la garantía ha vencido, etc.

Esta nueva categoría de CMC establece que entregar un producto defectuoso a un cliente tiene doble costo para la organización, ya que genera dos efectos:

1. CMC Resultante por Errores externos: gastos directos por garantía, servicio de post-venta, etc.
2. CMC del cliente: gastos indirectos por pérdida de reputación e insatisfacción del cliente. Potencial pérdida de facturación futura.

Por ello, se destaca la importancia de que todas las organizaciones consideren al CMC del cliente para la toma de decisiones respecto al nivel de Prevención y Evaluación requeridos. En la Figura 3, se distingue que los costes del cliente decrecen a medida que disminuyen los CMC resultantes y, por lo tanto, el número total de errores. Si la organización interioriza el CMC del cliente,  $X_2$  se desplaza a la derecha ya que requiere mayor inversión en CMC controlable (Prevención y Evaluación) para evitar que los errores lleguen al cliente.

El concepto de CMC del cliente introducido por Harrington permite otorgarle una mayor importancia a la medición de los gastos en los que debe incurrir el consumidor por productos o servicios defectuosos. Este tema será retomado posteriormente por Halevy y Naveh en su investigación sobre los costos de no calidad en Israel, sobre la cual se profundizará en el siguiente apartado.

**Consenso actual.** Por su parte, Wood (2014) critica la utilización del término Costos de Mala Calidad como sinónimo de costos de calidad, ya que entiende que la primera no incluye a la Prevención o Evaluación y, por lo tanto, se presta a confusión. En cambio, sugiere el conocido modelo Prevention-Appraisal-Failure (PAF) como el más representativo; en el mismo, se establece

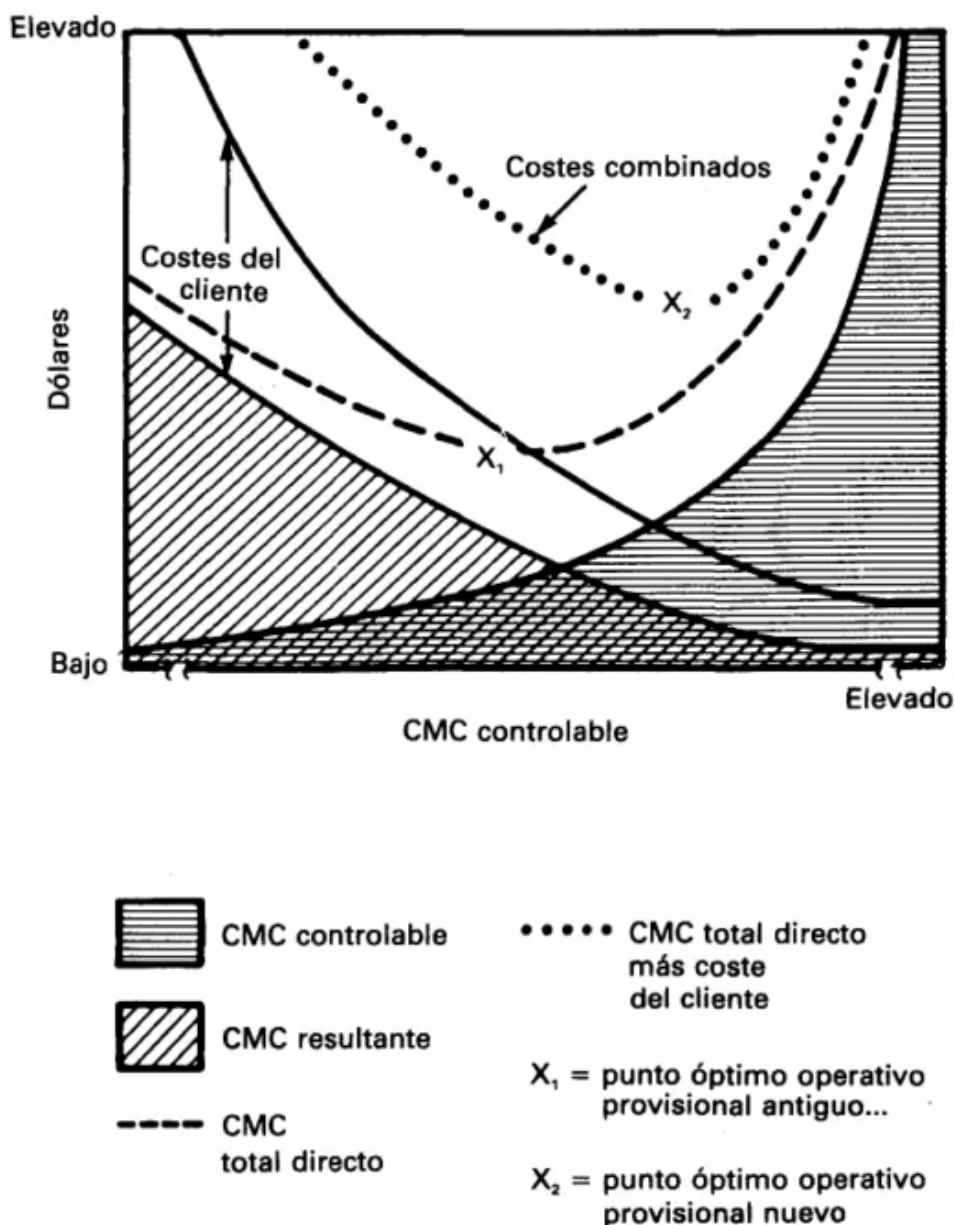


Figura 3.

Impacto de los Costos de Mala Calidad del Cliente sobre el Punto Óptimo Operativo Provisional. **Nota** Fuente: Harrington, H.J. (1990). *El Coste de la Mala Calidad*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.

que las tres fuentes de costos de calidad serán: (a) Costos de Prevención (b) Costos de Evaluación. (c) Costos por fallas internas y externas.

Van de Broek (citado por Schuurman, 1998) menciona que los costos por prevención y evaluación también son llamados Costos de la Calidad mientras que aquellos derivados de las Fallas Internas y Externas son considerados Costos de la No Calidad.

En resumen, es posible afirmar que el debate sobre la correcta denominación de estos costos ha evolucionado en el tiempo y responde a las necesidades coyunturales de concientizar a las organizaciones sobre su naturaleza e impacto. En este trabajo, se utiliza el término “costos de



---

calidad” para referirse a todo tipo de costos generales (de prevención, evaluación o por fallas) relacionados con la calidad, ya que es la definición más empleada en la actualidad (Wood, 2014). No obstante, los costos sobre el cliente se producen cuando el producto o servicio falla, es decir, cuando existe “no calidad”. Por lo tanto, los Costos de Mala Calidad Indirectos sobre el cliente son llamados simplemente Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC), a fin de simplificar las definiciones.

## **Enfoque sectorial**

**Antecedentes de estudios gubernamentales.** Los conceptos de costos de calidad comenzaron a ser objeto de estudio por organizaciones y gobiernos, en un esfuerzo por cuantificar su impacto en la economía y la competitividad. Alguno de los antecedentes más importantes son (European Commission, 1997):

- “Economic aspects of quality” (1994) elaborado por la European Foundation for Quality Management (EFQM).
- “Evaluation of the costs of non-quality in small and medium-sized industrial and commercial enterprises” (1983) desarrollado en Francia ante la solicitud del Ministerio de Industria.
- Nuevo estudio francés (1990) realizado por Repères ante solicitud del Ministerio de Industria, a fin de confirmar los resultados obtenidos en 1983.
- Van de Broek (citado por Schuurman, 1998) menciona un estudio en Países Bajos donde los costos de calidad ascienden al 10 % de la facturación de las corporaciones.
- “The Cost of Non-Quality in Israel” (1996) por Avner Halevy y Eitan Naveh.

Por lo tanto, las investigaciones poseen diversos alcances: mientras que algunas se concentran en organizaciones privadas de sectores puntuales (por ejemplo, la construcción), otros, más ambiciosos, abarcan al total de la economía (Israel). Los resultados afirman que los costos de calidad y no calidad representan entre un 10 % y un 28 % de la facturación estudiada, siendo 10 % cuando se estima sobre un sector específico y 28 % sobre el total de la economía. Independientemente del alcance, todos los estudios cumplen su objetivo: brindar difusión a la importancia de la calidad para la competitividad nacional.

**La experiencia israelí.** La investigación desarrollada por Avner Havelly y Eitan Naveh se destaca por extrapolar la medición de costos de calidad desde una perspectiva organizacional a otra perspectiva macroeconómica. Para ello, desarrollaron una metodología novedosa, por la cual reconocieron fuentes de Costos de No Calidad en los siguientes segmentos (Figura 4):

1. Nivel Público: En los procesos internos del sector público y en su cadena de valor (desperdicios generados por el sector público a organizaciones con las que interactúa).

2. Nivel organizacional:

- En los procesos internos de una organización industrial o comercial.
- En la cadena de valor industrial o comercial: como resultado de las interacciones entre organizaciones (relación proveedor-cliente).

3. Sobre la población general por productos y servicios defectuosos: Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC)

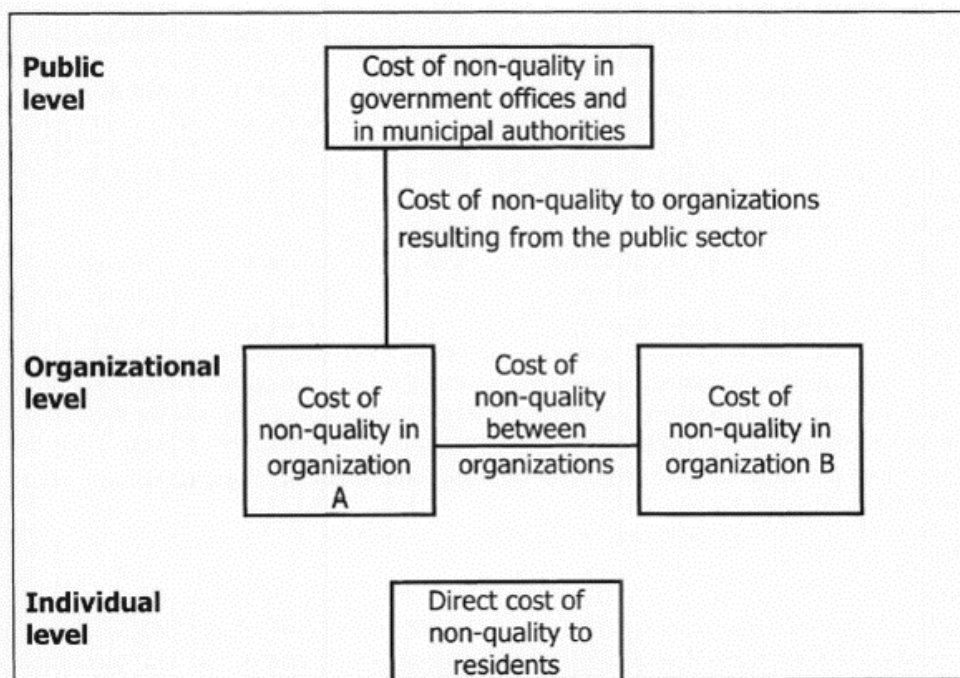


Figura 4.

Niveles de costos de calidad en la Economía. **Nota** Fuente: Halevy, A., y Naveh, E. (2000). Measuring and reducing the national cost of non-quality. *Total Quality Management*, 11 (8), 1095-1110.

Según cada nivel investigado, emplearon una metodología distinta, las cuales se resumen en la Tabla 3.

Para el nivel organizacional y público, el desafío fue obtener información integrable y agregable, ya que cada organización usa distintos indicadores y sistemas de medición para estimar sus costos. Con este objetivo, se procedió de la siguiente manera:

1. Investigación preliminar:

- a) Realización de una encuesta para identificar los principales generadores de desperdicios en la industria.
- b) Entrevistas a expertos y senior managers.
- c) Investigación de casos de éxito en la implementación de programas de mejoras.

- 
2. Los resultados de 1) permitieron identificar tres categorías de costos de no calidad, los cuales sirvieron para homogeneizar criterios y realizar la sumatoria de costos a nivel nacional:
    - a) Infraestructura y mantenimiento de calidad (en procesos internos): son los costos de prevención y evaluación de la calidad.
    - b) Fallas internas y externas (en procesos internos): son los costos directos de la no calidad, como scrap, reproceso, desperdicios de RRHH y quejas de los clientes.
    - c) Daños causados por terceros (en cadena de valor): debido a la baja calidad de los productos de los proveedores, incluyendo la provisión deficiente de energía, transporte y otras áreas concernientes a la infraestructura nacional.
  3. Para reducir la varianza de los estimadores lineales de la población, se decidió dividir a las organizaciones en tres estratos:
    - a) Las 15 organizaciones más importantes de la economía;
    - b) Las siguientes 250 más importantes: se identificaron, gracias a estudios preliminares, que las industrias de la construcción y de la salud poseen estructuras y medición de costos de no calidad diferentes a otros sectores. Por ello, se aplicaron distintas metodologías en cada una.
    - c) El resto de las organizaciones.
  4. Considerando las tres categorías de costos de calidad, se empleó la siguiente metodología:
    - a) Para las 10 organizaciones más grandes de la economía, se llevó adelante un proceso de medición en profundidad que consistió en:
      - Entrevistas personales con diversos gerentes de cada organización (especialmente en Calidad), para explicar el objetivo del relevamiento y cómo localizar y medir fuentes de no calidad.
      - Entrega de un cuestionario que desglosa las tres categorías de costos de calidad en detalle, el cual fue completado con la asistencia de los investigadores, a fin de reducir la variabilidad de respuestas.
      - Las mediciones fueron clasificadas según su nivel de precisión: desde “estimaciones” hasta “datos medibles y defendibles con evidencias”. En los casos de mayor imprecisión, los investigadores optaban por dejar el campo en cero o bien por elegir la estimación más baja, con el objetivo de no sobreestimar los costos medidos.
      - El asesoramiento a cada organización demandó numerosas visitas y varios meses en completarse.

- Para aquellos ítems que no hayan podido ser medidos en algunas organizaciones y sí en otras: se consideraron los datos existentes para un mismo ítem y se realizó una estimación para el total de la economía. No se brindan detalles sobre los criterios para realizar las estimaciones.
- b) Para las 250 organizaciones más grandes de la economía, se llevó adelante un proceso más sencillo:
- En función al análisis realizado en las 10 organizaciones más grandes, se extrajeron los principales factores e ítems de costos. Estos se utilizaron para armar un cuestionario simplificado.
  - Entrega del cuestionario simplificado a los Gerentes Generales de organizaciones industriales y comerciales. Si bien se les brindó una explicación telefónica, cada cuestionario es completado exclusivamente por la empresa, sin asistencia de los investigadores.
- c) Para el sector de la Construcción, se empleó una variación del Método Delphi. Para ello:
- Se reunió a un grupo de 22 expertos de la industria de la construcción.
  - Se entregó un cuestionario para estimar los costos de no calidad y luego se expusieron los resultados.
  - El proceso se repitió tantas veces como haya sido necesario (mediante la realización de nuevos cuestionarios) hasta que los expertos lograron un consenso sobre las causas y volumen de los Costos de No Calidad.
- d) Para el sector de la Salud, se contactó a los Gerentes de Hospitales e Investigadores en Política Sanitaria y Métodos, quienes aportaron información resultante de sus investigaciones. Gracias a ello, se encontraron los principales factores de costo. Los Días Innecesarios de Hospitalización son los únicos costos de los que se poseen datos precisos sobre su cuantificación; por lo tanto, serán los únicos que se considerarán para los costos de no calidad nacionales.
- e) Para el sector bancario, se utilizaron los siguientes métodos complementarios, de los cuales no se brindan mayores detalles:
- Entrevistas y recolección de datos.
  - Consultas a expertos: opiniones de ex-presidentes de dos bancos líderes de Israel.
- f) Para el sector público, y en función a la clasificación inicial de costos de no calidad en Servicios Nacionales y Servicios Locales, se recopiló información de las siguientes fuentes:
- Desperdicios identificados por aquellos municipios que están implementando

Programas de Mejoras de Calidad.

- Consultas a expertos.
- Estudios de casos en oficinas gubernamentales nacionales.

No se brindaron mayores detalles sobre el método de estimación de los costos de no calidad.

Tabla 3

*Metodología utilizada para medir los Costos de No Calidad en la Economía según segmento.*

	Entrevistas Personales	Método Delphi	Consultas a Expertos	Cuestionarios	Recolección de Datos
Industria y Comercio (10 organizaciones más grandes)	X			X	
Industria y Comercio (250 organizaciones más grandes)				X	
Construcción		X			
Salud	X		X		X
Banca	X		X		X
Sector Público			X		X
Consumidores				X	X
Eventos Especiales				X	X

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Halevy A., y Naveh, E. (2000). Measuring and reducing the national cost of non-quality. Total Quality Management, 11 (8), 1095-1110.*

Por otro lado, en el Nivel Individual los autores se refieren a los Costos sobre los Consumidores, es decir, a los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC):

1. Los resultados de la Encuesta de Gastos de Hogares en Israel (realizada sobre una muestra de 5.200 hogares) determinaron una composición típica del gasto clasificado en 5 categorías: Hogar, Automóvil y Transporte, Equipamiento Doméstico, Salud y Turismo.
2. Se creó un cuestionario con componentes de costos de no calidad correspondientes a cada categoría. Los componentes fueron seleccionados luego de realizarse estudios piloto sobre su posible relevancia (por ejemplo, los costos de no calidad en alimentos e indumentaria fueron considerados insignificantes):
  - a) Los entrevistados respondieron preguntas sobre los costos de no calidad que debieron afrontar en los últimos 12 meses.

- b) Se realizó sobre 350 hogares seleccionados al azar, los cuales fueron contactados telefónicamente.
- c) Se excluyeron los gastos de mantenimiento esperados del ciclo de vida normal del producto (por ejemplo, el reemplazo programado de autopartes).
- d) La contabilización de los costos tuvo en cuenta la antigüedad del producto; por ejemplo, no se consideraron gastos sobre electrodomésticos de 5 años o más, o se cuantificaron los gastos sobre automóviles u hogar en función a su antigüedad.

Finalmente, los Eventos Especiales toman en cuenta información ya publicada sobre accidentes de tránsito, robos de autos, cortes nacionales de luz, incendios, epidemias de gripe, escasez alimentaria, disputas laborales, embotellamientos de tránsito, entre otros eventos especiales. No se brindan mayores detalles sobre el cálculo.

Como excepciones, se decidió no medir el desperdicio por uso ineficiente de Recursos Humanos, dada la inexistencia de información objetiva. Tampoco se consideraron los costos de no calidad sobre fallas en alimentos o indumentaria, ya que los estudios pilotos demostraron que los mismos son insignificantes. Asimismo, se excluyó del análisis al sector militar y policial.

En función a los datos recabados de las tres dimensiones (Organizacional y Público, Consumidores y Eventos Especiales), los costos se clasificaron según el tipo de industria y el sector al que pertenecen. Luego, para calcular el indicador de los costos de no calidad, se utilizaron cualquiera de los dos estimadores lineales:

$$\frac{\sum c_j}{\sum s_j} \tag{1}$$

$$\frac{\sum c_j}{\sum s_j} * S \tag{2}$$

Siendo:

- $C_j$ : el Costos de No Calidad de un ítem específico reportado por la organización  $j$ .
- $S_j$ : las ventas anuales totales de la organización  $j$  (para el año de realización de la encuesta)
- $S$ : las ventas totales de todas las organizaciones del estrato.
- La sumatoria se realiza sobre todas las organizaciones de un estrato que hayan reportado el ítem de costo.
- Si se multiplica el ratio por 100, se obtiene el estimado del impacto porcentual del ítem de costo para las ventas totales del sector o del estrato.

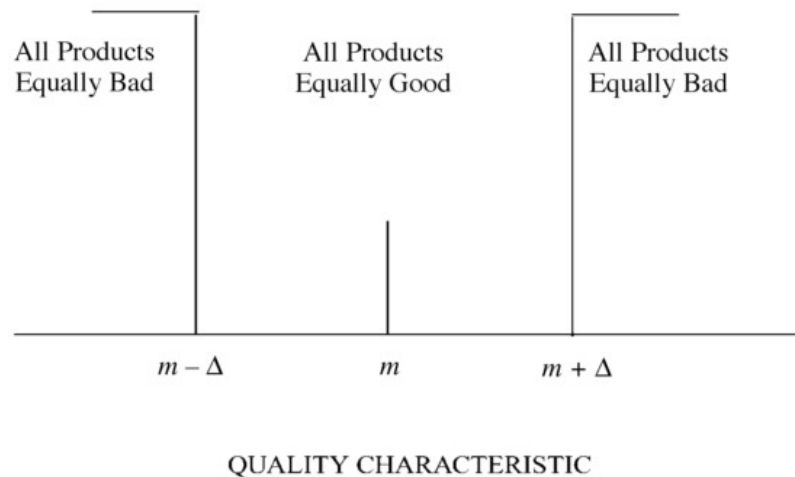
---

## CAPÍTULO III

### LA FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE CALIDAD

#### Un nuevo paradigma de calidad

Taguchi desarrolló un concepto de Calidad que incorpora a los Costos de No Calidad sobre los Clientes. Considera las pérdidas por fallas de un producto o servicio como un perjuicio a la sociedad (Taguchi, 1986), el cual se refleja en un coste externo que no es internalizado por el productor. Es decir, las fallas producen un costo de no calidad sobre el cliente o externalidades negativas. Los productos que no cumplen con las expectativas de funcionamiento en cualquier circunstancia generan costos para clientes, productores y para el resto de la sociedad (Yacuzzi & Martin, 2002).



*Figura 5.*

Representación gráfica del criterio “Cero Defectos”. **Nota** Fuente: Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

La Función de Pérdida de Calidad (QLF) es coherente con el quiebre de paradigma propuesto por Taguchi respecto a la medición y evaluación de costos de calidad. Su objetivo es la medición cuantitativa de las pérdidas causadas por una variación funcional de un producto o servicio (Taguchi, Chowdhury, & Wu, 2005). El criterio predominante, conocido como “cero defectos”, establece un intervalo de tolerancia para las especificaciones del producto. Todos los productos que se encuentren entre el Límite Superior de Control (LSC) y el Límite Inferior de Control (LIC), son aceptados. Caso contrario, son rechazados (Montgomery, 2013). Bajo esta perspectiva, se aceptan productos cuyas especificaciones estén sobre la Línea Central (target) así como los que estén al borde del LSC o el LIC (Figura 5). Son únicamente los rechazos los que se computan como costos

de calidad.

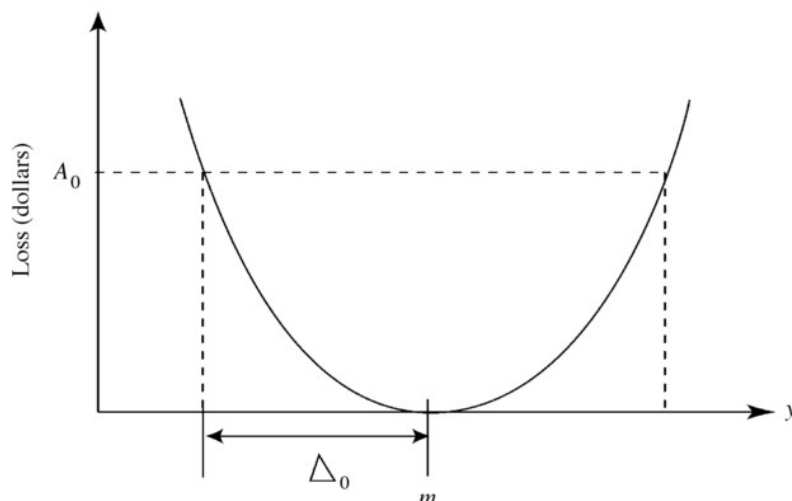


Figura 6.

Representación gráfica del Modelo “Nominal Mejor” y del límite funcional del producto  $\Delta_0$  y el costo de su contramedida  $A_0$ . **Nota** Fuente: Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

La ecuación básica para expresar la QLF es la siguiente aproximación parabólica (Taguchi y col., 2005):

$$L = k(y - m)^2 \tag{3}$$

Siendo  $L$  la pérdida monetaria cuando la característica de calidad (duración, ancho, largo, resistencia, etc) es igual a  $y$ ,  $k$  una constante de monetización para la característica de calidad y  $m$  el valor del objetivo de desempeño (target) deseado.

El valor  $m$  representa el punto mínimo de la curva  $L$ , tal como se verifica en la Figura 7 (Taguchi y col., 2005). Dicha figura ilustra un ejemplo respecto a la producción de hojas de vinilo. La característica de calidad de las mismas es su grosor, por lo que la definición de  $m$  implica la elección del objetivo de la especificación en milímetros. A medida que se incrementa el grosor de las hojas de vinilo, también lo hace el costo de producción del fabricante (Curva  $C$ ). No obstante, el aumento del grosor implica una disminución de los costos de no calidad directos e indirectos (Curva  $Q$ ), ya que las hojas de vinilo tendrán una menor probabilidad de rotura y, por lo tanto, el fabricante no deberá hacer frente a reclamos de clientes y sus consecuentes reparaciones.

La sumatoria de ambas curvas resulta en la Curva  $L$ , cuyo punto  $m$  minimiza las pérdidas de calidad que afectan a los clientes y a la sociedad en su conjunto (Yacuzzi & Martin, 2002). Si el productor decide disminuir el target al valor 0,82, el costo  $L$  sería mayor.

Por otro lado, cuando un producto o servicio se desvía más allá del límite funcional  $\Delta_0$ , el cliente debe llevar adelante una contramedida (descarte, reparación, reemplazo del producto) cuyo



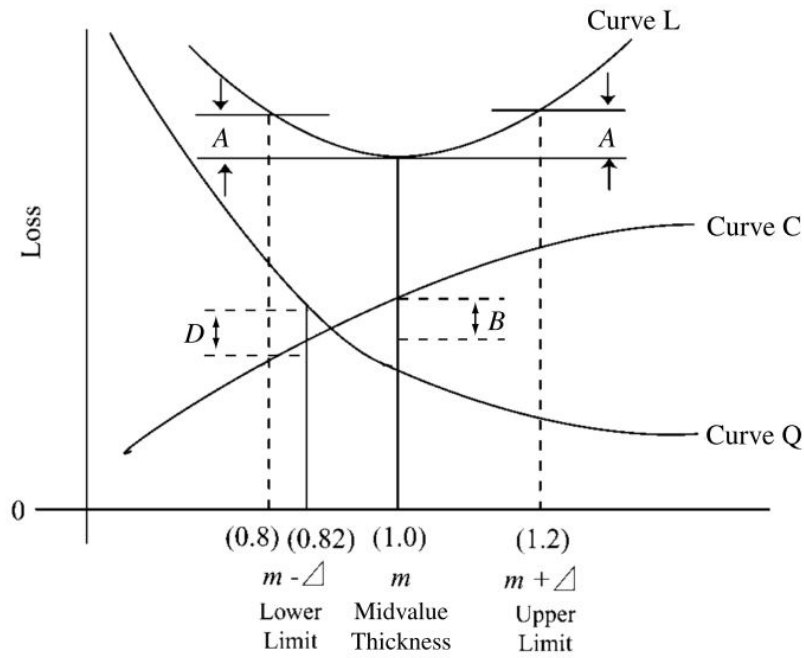


Figura 7.

Representación gráfica de la obtención del target  $m$  y su relación con el costo de producción y el costo de calidad. **Nota** Fuente: Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

costo será  $A_0$  (ver Figura 6). Por lo tanto,  $k$  es la pérdida monetaria por cada unidad de desvío respecto al target:

$$y = m + \Delta_0 \tag{4}$$

Siendo la Ecuación 4 el valor de  $y$  en su límite funcional:

$$A_0 = k(m + \Delta_0 - m)^2 \tag{5}$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \tag{6}$$

### Los tres Modelos propuestos por Taguchi

Para utilizar la QLF para varios productos, Taguchi desarrolló tres modelos posibles en función al MSD (error cuadrático medio):

1. Modelo “Nominal Mejor”:

a) QLF:  $L = k[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2]$

b)  $k = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$

c)  $m =$  valor deseado (target)

2. Modelo “Mayor Mejor”:

a) QLF:  $L = k\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$

b)  $k = A_0 * y_0^2$

c)  $m = \infty$

3. Modelo “Menor Mejor”:

a) QLF:  $L = k(\sigma^2 + \bar{y}^2)$

b)  $k = \frac{A_0}{y_0^2}$

c)  $m = 0$

La Quality Loss Function o Función de Pérdida de Calidad ha sido aplicada principalmente desde una perspectiva productiva. Por ejemplo, para optimizar el stock y reducir variabilidad (Ganeshan y col., 2001) o para seleccionar el diseño más robusto (Taguchi & Clausing, 1990). Sin embargo, su facilidad de utilización y su capacidad para traducir las pérdidas en costos monetarios la convierten en una herramienta muy útil para calcular CNCC en sectores o servicios brindados en el marco de la economía.

Cabe destacar que la QLF tiene por objetivo brindar una aproximación del impacto de los desvíos, no información exacta sobre los mismos (Taguchi & Clausing, 1990). Su valor reside en que los decisores que utilicen esta herramienta (gerentes, ingenieros, administradores, proveedores, clientes) puedan obtener resultados estimados de manera eficiente, a bajo costo y coherente con los principios de calidad (Taguchi y col., 2005).

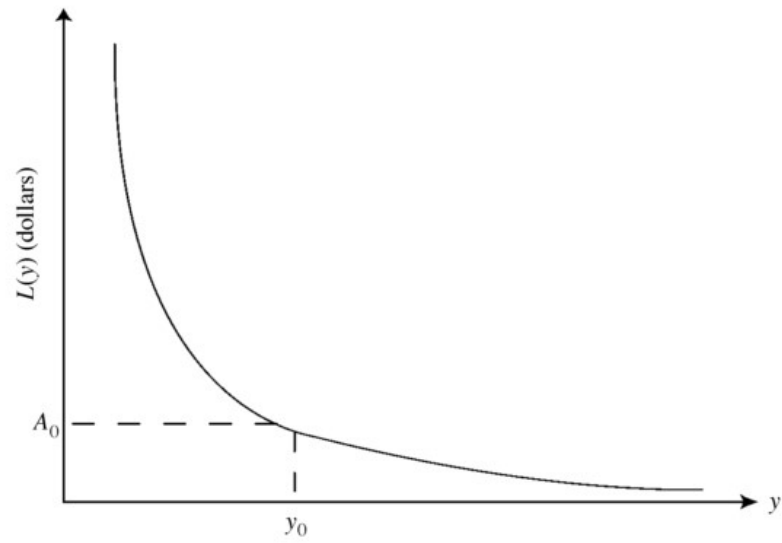


Figura 8.

Representación gráfica del Modelo “Menor Mejor”. **Nota** Fuente: Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

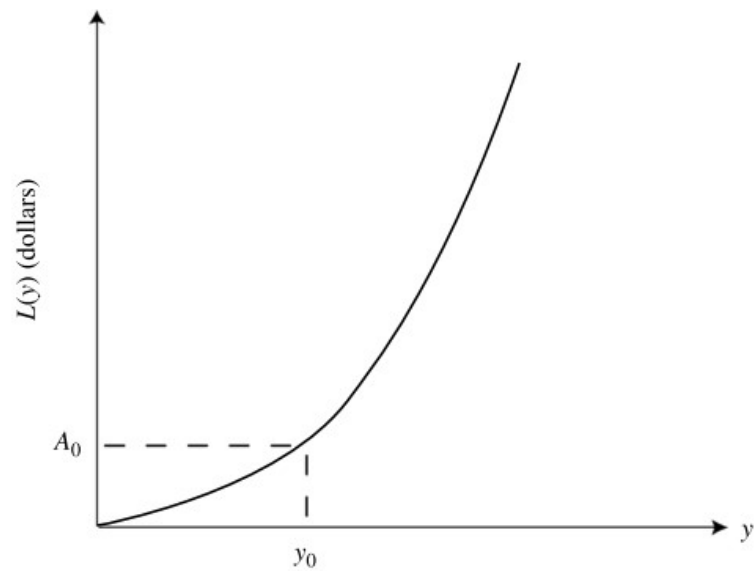


Figura 9.

Representación gráfica del Modelo “Mayor Mejor”. **Nota** Fuente: Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.



---

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA Y MÉTODOS

#### **Antecedentes en la medición de calidad de los servicios públicos de transporte**

El incipiente desarrollo urbano y los subsecuentes problemas de movilidad han derivado en un creciente interés de gobiernos e investigadores por mejorar la calidad del servicio de transporte público (Eboli & Mazzulla, 2012). El desafío consiste en aumentar la satisfacción del usuario para que continúe eligiendo el transporte público pero administrando eficientemente un servicio de capacidad limitada y con una demanda creciente. En pocas palabras, el objetivo es aumentar la cantidad de usuarios minimizando los Costos de No Calidad sobre los Clientes e, indirectamente, sobre la sociedad.

En esta línea, se destacan los esfuerzos del Transportation Research Board (TRB) en los Estados Unidos, quienes en 1999 desarrollaron Guías de Buenas Prácticas para medir la satisfacción del usuario, el desempeño del transporte y la calidad del servicio (Eboli & Mazzulla, 2012). En 2002, el Comité Europeo de Estandarización (CEN) también introdujo su manual de medición de calidad, el cual fue complementado con nuevas investigaciones del EU Transport RTD Programme y esfuerzos nacionales en diversos países europeos (Eboli & Mazzulla, 2012). En Reino Unido, la Corporación de Londres patrocinó un extenso estudio sobre los efectos económicos de las demoras en el transporte de Londres (Oxford Economic Forecasting, 2003). Asimismo, el Comité de Transporte del Parlamento británico redactó un informe sobre la creciente preocupación respecto a las consecuencias del hacinamiento en el transporte público, incluyendo efectos sobre la salud pública, el turismo y los negocios (Transport Committee, 2003).

#### **Metodología propuesta**

Con el objetivo de desarrollar una metodología que permita medir los CNCC en los Subterráneos de Buenos Aires, se procederá de la siguiente manera:

1. Descripción de los principales conceptos involucrados:
  - a) Costos de no calidad: evolución histórica del concepto y clasificación actual.
  - b) Diferentes perspectivas en el análisis de costos de no calidad.
  - c) Concepto de Calidad y Función de Pérdida de Calidad (QLF) de Genichi Taguchi.
2. Caracterización de los Subterráneos de Buenos Aires: evolución en la cantidad de usuarios, extensión de líneas, análisis estratégico (Cruz de Porter) y rol en las políticas públicas.

Hito de 1. y 2.: Contextualización de la problemática

3. Descripción de las posibles fuentes de Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) generadas por la mala calidad del transporte (interrupciones, hacinamiento, tiempo extra de viaje, confort, etc). Para ello, se realizará un análisis de la bibliografía existente sobre: (a) la medición de la calidad de los servicios públicos de transporte, (b) los efectos económicos de sus fallas de calidad y (c) las externalidades negativas del transporte público.
4. Obtención de los datos estadísticos sobre la calidad del servicio en los Subterráneos de Buenos Aires: Los datos necesarios se obtendrán de las siguientes fuentes,
  - SBASE: Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado tiene a su cargo la administración, desarrollo, expansión y control de la operación del servicio. A pesar de que no se publica información oficial sobre infraestructura, operativa y oferta de servicios desde 01/01/2012 (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2015), la misma se encuentra contemplada como información pública por la Ley 104/98 de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Por lo tanto, SBASE provee esta información ante el pedido de un ciudadano.
  - CNRT: La Comisión Nacional de Regulación del Transporte publica anualmente su Informe Estadístico sobre la Red Ferroviaria Argentina (de Superficie y Subterráneos). Si bien la información disponible en este último caso es limitada (por la ausencia de información oficial publicada por SBASE), sí existen datos útiles sobre extensión de líneas, cantidad de pasajeros pagos y material rodante disponible.Asimismo, también se utilizarán datos estadísticos de INDEC, Transport for London, Metro de Madrid, Metro de Santiago de Chile, entre otros.
5. Selección de fuentes de CNCC que se manifiesten en los Subterráneos de Buenos Aires: se expondrán datos estadísticos que demuestren la existencia de dichas fuentes y su relevancia.

Hito de 3., 4. y 5.: Identificación de la representatividad de variables a medir
6. Aplicación de la Función de Pérdida de Taguchi (QLF): en función a las fuentes seleccionadas, se determinarán los distintos parámetros que componen la QLF, como ser  $m$  y  $k$ . Asimismo, se evaluará qué Modelo de QLF le corresponderá a cada fuente y se analizará la pertinencia de incorporar otros modelos de medición. De esta forma, se realizará la medición de CNCC.

Hito de 6.: Aplicación exitosa de la metodología
7. Exposición de datos y conclusiones: los resultados obtenidos serán analizados según su impacto en la economía y los consumidores (nivel de gasto e ingreso promedio).

Hito de 7.: Contextualización de los resultados

---

## CAPÍTULO V

### CARACTERIZACIÓN DE LOS SUBTERRÁNEOS DE BUENOS AIRES

#### Breve reseña histórica

El servicio público de Subterráneos en Buenos Aires se inició en 1913, con la inauguración de la Línea A desde Plaza de Mayo hasta la actual Plaza Miserere (antigua Plaza 11 de Septiembre), extendiéndose hasta Caballito en 1914. Posteriormente, comenzó a funcionar la Línea B en 1930 y le siguieron la Línea C en 1934, Línea D en 1937, Línea E en 1944, Premetro (PM) en 1987 y, finalmente, Línea H en 2007 (Metrovías, 2017).

A lo largo de su historia, la administración del servicio fue asumida alternativamente por el Estado, organizaciones privadas u organismos mixtos público-privados. Si bien comenzó bajo la órbita de explotación privada, el riesgo de quiebra derivó en la creación, en 1936, de un organismo mixto público-privado: la Corporación de Transportes de la Ciudad de Buenos Aires (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2017a). No obstante, y luego de varios traspies económicos, desde 1952 la operación y coordinación del servicio pasó a la órbita estatal. Al inicio, dependió de Ministerios o Secretarías hasta que en 1977, se creó una empresa de capitales estatales que tendría total autonomía: Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado (SBASE).

SBASE fue la operadora y coordinadora del servicio hasta 1994, momento en el cual el Gobierno Nacional decidió otorgar derechos de explotación por concesión a la empresa Metrovías (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2016). Finalmente, en 2012, el Gobierno Nacional realizó el traspaso del control de la concesión al Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA), convirtiendo a SBASE en Autoridad de Aplicación. Mientras que Metrovías posee la concesión para la operación del servicio, SBASE está encargado del desarrollo, administración y mantenimiento de la infraestructura, así como del control de las operaciones del servicio.

#### Estado actual de la Red de Subterráneos

En la actualidad, la red total cuenta con 103 estaciones distribuidas en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 61 kms de extensión y transporta a más de 300 millones de personas anualmente (Metrovías, 2016a). La Figura 10 muestra la tendencia positiva existente desde 2012 en el número de pasajeros pagos transportados, acompañando las mejoras de infraestructura realizadas por SBASE (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2018). Asimismo, en 2017 se logró superar el récord histórico de pasajeros del 2011. Además de renovar gran parte del material rodante, se inauguraron nuevas estaciones (Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires, 2017a) y se incrementaron los kilómetros de extensión de las líneas A, B y H (Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires, 2017c), tal como se visualiza en las

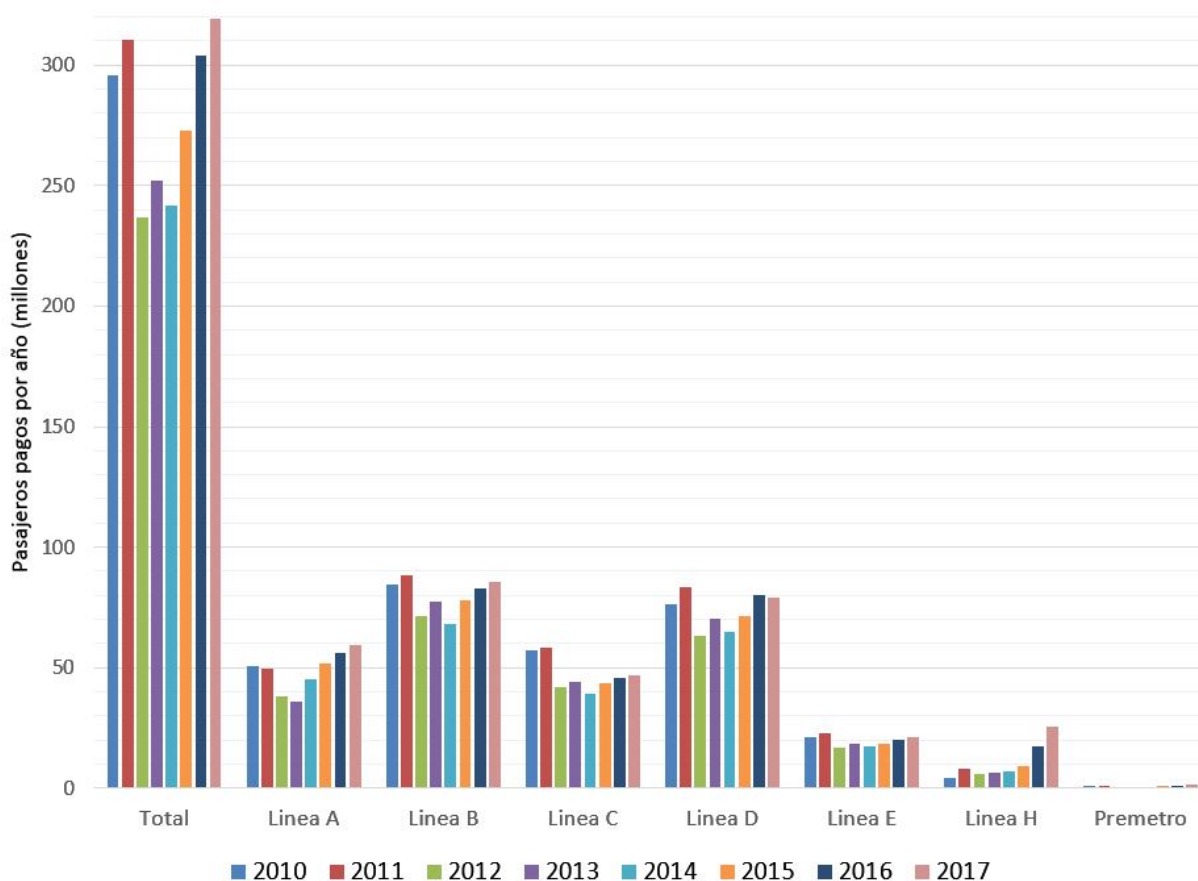


Figura 10.

Evolución de la cantidad anual de pasajeros pagos de Subterráneos (2010-2017), segmentado por línea. **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información publicada por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2018). *Estadísticas ferroviarias: Pasajeros pagos transportados 1993-2018*. Ministerio de Transporte de la Nación.

Figuras 12 y 11 respectivamente. Cabe destacar que el Premetro registra un promedio de 786.148 pasajeros pagos anuales en el período 2010-2017, razón por la cual no se visualiza en la escala de la Figura 10 (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2018).

A pesar de que existe una tendencia positiva en el número de pasajeros y evidentes signos de mejora, los resultados de la Encuesta 2017 sobre Satisfacción con el Servicio del Subte (ver Apéndice A) demuestran que se debe continuar mejorando la calidad del servicio. En Septiembre 2017, un 68 % de los encuestados manifestó estar satisfecho con el servicio, mientras que un 32 % considera que el servicio es regular o malo (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2017b)

**Descripción del Material Rodante.** La red de subterráneos de Buenos Aires cuenta con una importante heterogeneidad en su material rodante, reflejado en la coexistencia de formaciones con distintos orígenes, antigüedad, funcionalidades y capacidad (Tabla 4). En Mayo 2017, existían 12 tipos diferentes de formaciones en servicio (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2017a), aunque este número varía todos los meses a medida que se reincorporan o retiran coches



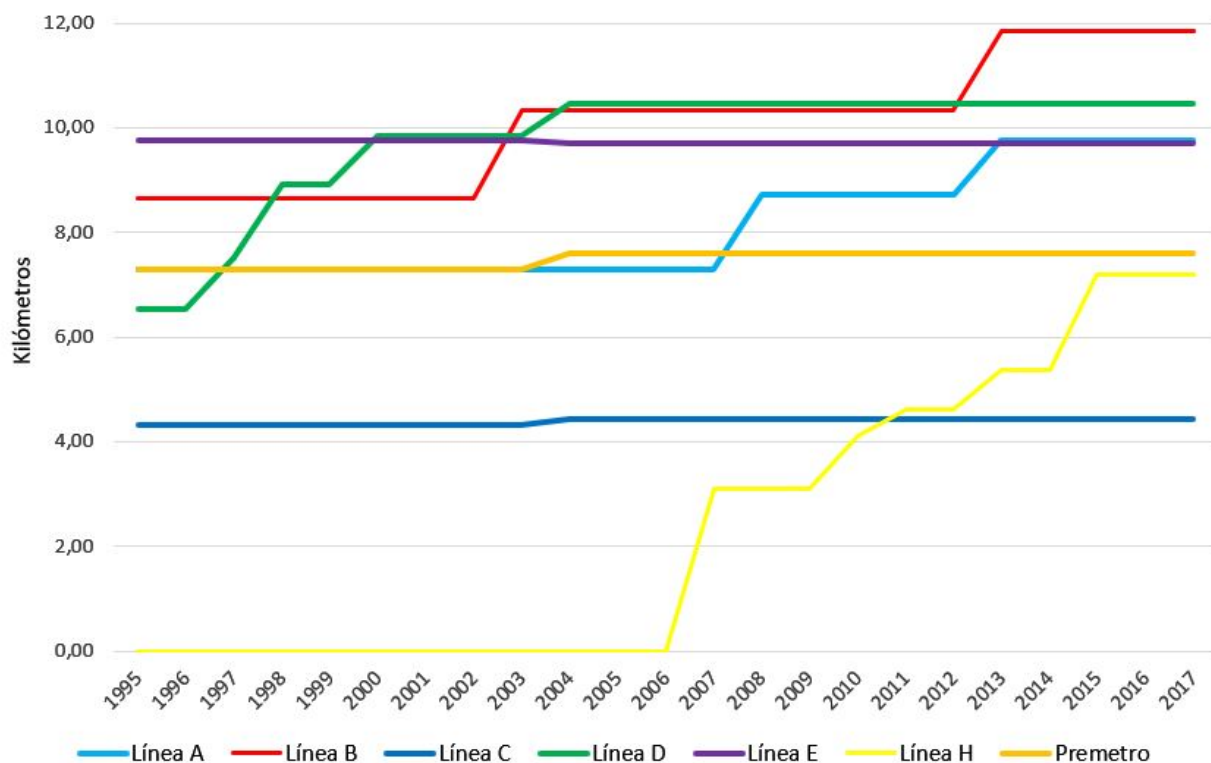


Figura 11.

Evolución de la extensión en kilómetros de las líneas de Subterráneos (1995-2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información publicada por la Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires. (2017c). *Longitud del transporte subterráneo de pasajeros (metros) por línea. Ciudad de Buenos Aires. Años 1995/2017*. Ministerio de Economía y Finanzas de la Ciudad de Buenos Aires.

por mantenimiento. Estas fluctuaciones son especialmente notorias en líneas donde no existe una estandarización de las formaciones y cuándo las mismas son especialmente antiguas, lo que obliga a contar con coches de emergencia para no alterar la frecuencia. Asimismo, también se verifica la rotación de formaciones entre líneas, especialmente entre la línea D y E para los Fiat FM.

Solo la línea A, H y PM poseen un único tipo de flota (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018b), mientras que el resto debe utilizar entre dos y tres tipos diferentes, tal como se vislumbra en la Tabla 4. Tampoco existe una estandarización de flota en la línea C, ya que el nombre Nagoya no hace referencia a un mismo fabricante sino al origen geográfico de estas formaciones: el Metro de Tokio (EnelSubte.com, 2017).

La Tabla 4 fue elaborada considerando el Informe Final de Auditoría Proyecto Nro. 1.13.15 (Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires, 2013). No obstante, y tal como se detalla en la Tabla A3 (ver Apéndice A), los ítems “Capacidad por coche (pasajeros sentados)” y “Flota” fueron obtenidos de los resultados de la Solicitud de Información en el marco de la Ley 104 (Subterráneos

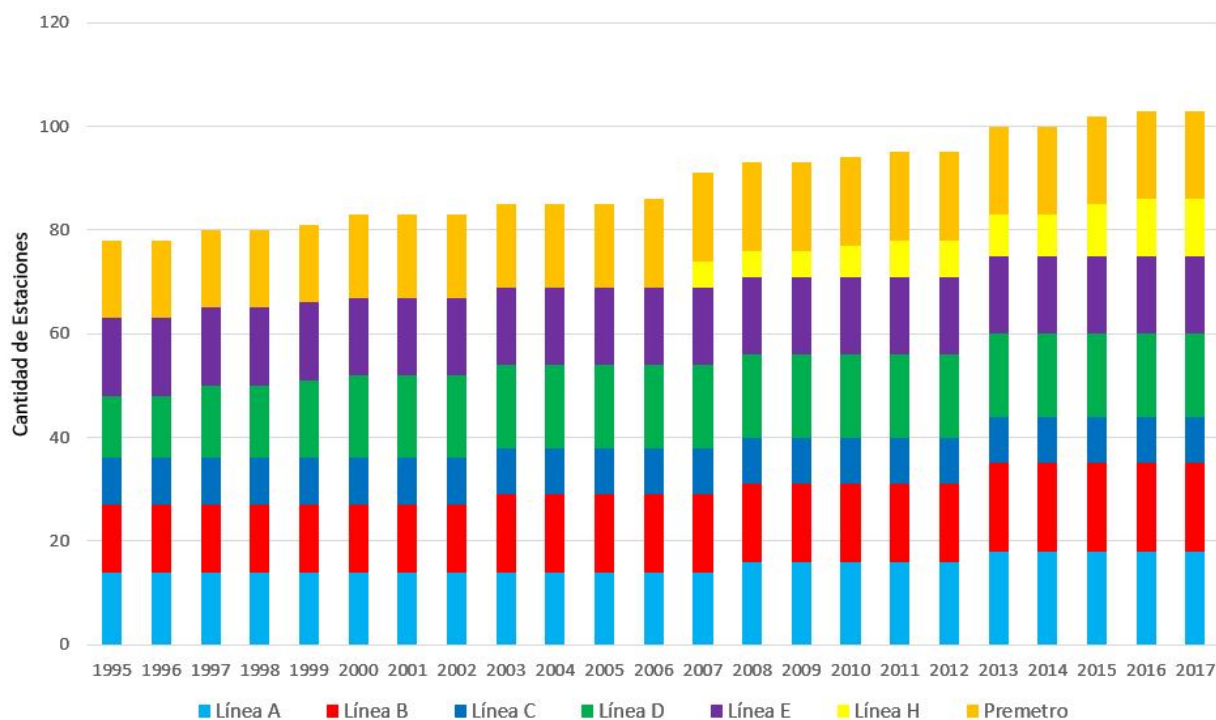


Figura 12.

Evolución de la cantidad de estaciones de Subterráneos (1995-2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información publicada por la Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires. (2017a). *Estaciones del transporte subterráneo de pasajeros por línea. Ciudad de Buenos Aires. Años 1995/2017*. Ministerio de Economía y Finanzas de la Ciudad de Buenos Aires.

de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2017a)

A pesar de la ausencia de estandarización, las diversas formaciones comparten, en su mayoría, algunas características en común. Por ejemplo, los Alstom, CNR, Fiat FM y CAF GEE poseen la misma cantidad de  $m^2$  por coche, aunque el espacio efectivamente disponible para pasajeros parados depende de la cantidad de asientos.

Finalmente, también existe una importante diversidad respecto a la antigüedad de las formaciones. Mientras que los CNR fueron comprados como unidades cero kilómetro en 2013 (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018), los Mitsubishi, Nagoya y CAF GEE superan ampliamente los 40 años de servicio (Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires, 2013).

### Perspectivas futuras

Hasta el 2019, solo se proyecta finalizar la nueva traza de 3 kms de la Línea E y reemplazar material rodante. Actualmente, la política pública en materia de transporte del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires se orienta al desarrollo de otros medios de transporte público alternativos al subterráneo, como los carriles exclusivos para bicicletas (bicisendas) o para colectivos (Metrobus).

Tabla 4

*Características del material rodante de la red de Subterráneos de Buenos Aires (Mayo 2017)*

Línea	Flota	Pasajeros sentados por coche	Pasajeros parados por coche	Ancho del coche (mm)	Largo del coche (mm)	m <sup>2</sup> por coche
A	CNR	36	96	2.600	17.000	44,2
B	Mitsubishi	50	134	2.790	17.500	48,8
B	CAF 5000	32	186	2.800	17.400	48,7
B	CAF 6000	28	165	2.800	17.400	48,7
C	Nagoya 300	42	112	2.500	15.000	37,5
C	Nagoya 1200	42	112	2.500	15.000	37,5
C	Nagoya 5000	42	112	2.500	15.000	37,5
D	Alstom 100	35	128	2.600	17.000	44,2
D	Fiat FM	44	117	2.600	16.990	44,2
E	G.E.E.	41	153	2.600	17.000	44,2
E	Fiat FM	44	117	2.600	16.990	44,2
H	Alstom 300	35	128	2.600	17.000	44,2
PM	Materfer FM	32	134	2.500	15.760	39,4

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a la información provista por Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires. (2013). Informe Final de Auditoría - Proyecto Nro. 1.13.15, Ley 4472 y por Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017). Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Cantidad de Viajes, Asientos y CKM. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.*

Durante la última década, se han desarrollado 62,5 km de Metrobus, 181 km de bicisendas y tan solo 12 km de subterráneos (Tomino, 2017). En consecuencia, será necesario redoblar esfuerzos para aumentar la calidad del servicio ante la desaceleración de las inversiones en infraestructura de la red.

En este sentido, la realización de un Análisis Estratégico de las Fuerzas Competitivas del Mercado permite vislumbrar la complejidad de la problemática. Para ello, se utilizará el esquema conocido como Cruz de Porter (Figura 13), a través del cual se analiza el poder de negociación de las siguientes Fuerzas del Mercado.

**Clientes.** La marcada heterogeneidad y el gran número de usuarios de subterráneos reduce su poder de negociación para exigir modificaciones de precios o de calidad en la prestación del servicio. Es decir, es altamente improbable que los clientes logren adoptar una postura coordinada para generar los mentados cambios. Sin embargo, cabe destacar que si los usuarios de subterráneos están dispuestos a pagar más dinero o invertir más tiempo de viaje por un servicio de mejor calidad, pueden optar por alguno de los múltiples servicios de transporte sustitutos.

**Proveedores.** Los altos costos de adquisición y la necesidad de financiamiento por parte de SBASE derivan en un alto poder de negociación para los proveedores de material rodante, el cual

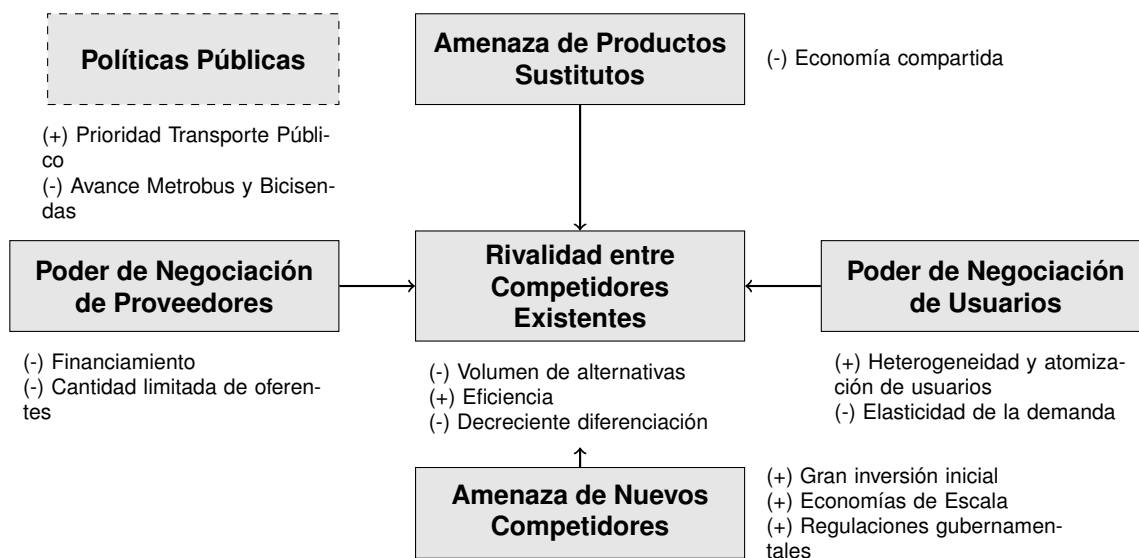


Figura 13.

Análisis Estratégico del Mercado de Transporte Público en Subterráneos a través de la Cruz de Porter. **Nota** Fuente: Elaboración Propia.

suele adquirirse de segunda mano a otros sistemas de Subterráneos extranjeros. Por otro lado, las tareas de mantenimiento son realizadas en talleres de Metrovías, por lo que no existen amenazas por parte de estos proveedores.

**Nuevos competidores.** Existen importantes barreras de entrada que impiden la aparición de nuevos oferentes del servicio de Subterráneos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Entre ellas, la altísima inversión requerida, la necesidad de economías de escala y las regulaciones gubernamentales lo convierten en económicamente inviable para posibles competidores.

**Productos Sustitutos.** Los productos sustitutos son principalmente aquellos enmarcados dentro de la Economía Compartida, la cual favorece la comunicación entre potenciales usuarios y prestadores, eliminando intermediarios y ofreciendo mayor flexibilidad de servicio. En consecuencia, el usuario puede acceder a un servicio de menor costo, mayor comodidad y destacable previsibilidad por la recepción de información en tiempo real. Asimismo, la creciente facilidad para ofrecer o demandar este tipo de servicios asegura que su popularidad continúe en ascenso.

**Rivalidad entre Competidores.** Los competidores tradicionales del servicio de subterráneo están representados por trenes, colectivos, taxis y automóviles particulares. Dado que la principal propuesta de valor del subterráneo se sustenta en tiempos reducidos de viaje y mayor confiabilidad percibida, una deficiente calidad en el servicio puede disminuir la diferenciación que posee respecto a otros medios de transporte.

---

## Perspectivas en los indicadores de desempeño

El análisis de la bibliografía permite identificar dos grandes perspectivas para medir el desempeño del servicio de transporte público. Por un lado, existen indicadores desde la perspectiva organizacional, como ser costo-eficiencia, costo-efectividad o servicio-efectividad (Transportation Research Board citado por Eboli y Mazzulla, 2012). Por el otro, existen mediciones sobre la calidad del servicio, los cuales consideran la experiencia del usuario (Litman citado por Eboli y Mazzulla, 2012) y, en consecuencia, su nivel de satisfacción. Si bien ambas perspectivas son fundamentales para una correcta administración del servicio, los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) se medirán en la perspectiva de Calidad del Servicio. Poco le importará al usuario si la organización administradora del servicio no alcanza sus metas de productividad del trabajo o eficiencia energética; sus expectativas estarán compuestas por indicadores como la comodidad, el tiempo promedio de viaje o las demoras detectadas. Es decir, factores que afectan su satisfacción y la funcionalidad misma del servicio.

Con fines ilustrativos, se pueden enunciar algunos indicadores que pertenecen a la perspectiva organizacional; de esta manera, se deja en claro cuáles no serán considerados en el análisis objeto de este trabajo. La clasificación realizada por Carter y Lomax (citados por Eboli y Mazzulla, 2012) incluye:

- Eficiencia del costo: costo por kilómetro, costo por hora.
- Efectividad del costo: costo por viaje de pasajero.
- Efectividad del servicio: viajes de pasajeros por kilómetro, viajes de pasajeros por hora.
- Eficiencia del vehículo: kilómetros por vehículo.
- Productividad del trabajo: viajes de pasajeros por empleado, kilómetros de vehículo por empleado.

Carter y Loma incluyen, además, la categoría Calidad del Servicio (velocidad promedio, kilómetros recorridos entre accidentes), la cual será objeto del presente trabajo. Por su parte, la Comisión Nacional de Regulación de Transporte (2016) utiliza un doble enfoque para medir la calidad del servicio en ferrocarriles. Por un lado, realiza inspecciones en estaciones y material rodante para evaluar el estado de:

- Limpieza, Conservación e Iluminación de Estaciones y Material Rodante.
- Información Disponible para el Usuario (Estaciones).
- Estado de los Accesos (Estaciones).
- Atención en boleterías (Estaciones).
- Ventilación o refrigeración (Material Rodante).
- Servicios de Seguridad Pública (Estaciones).

Por el otro, considera las quejas de los usuarios para evaluar los mismos indicadores; se espera que exista una correlación positiva con los resultados de las inspecciones. Es decir, ante una mejora del servicio, debería aumentar la satisfacción de los usuarios (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2016). En 2016, la Comisión Nacional de Regulación de Transporte realizó más de 49.000 inspecciones y procesó un total de 165.754 quejas de usuarios; es decir, 37,8 quejas por cada millón de pasajeros pagos (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2016). Similarmente, Metrovías declara haber recibido 33,2 quejas por millón de pasajeros (Metrovías, 2016b). No obstante, la última Encuesta de Satisfacción realizada por el GCBA sobre Subterráneos indica que la “atención a reclamos” es el ítem que peor puntaje obtuvo, con tan solo un 28 % de satisfacción (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2017b). Una pobre atención a reclamos desalienta a los usuarios para presentar quejas, por lo que se pone en duda la veracidad de la cifra presentada por Metrovías. Si la elasticidad de la demanda es lo suficientemente alta, el cliente puede no quejarse pero sí reemplazar el servicio por otro que le permita disminuir los costos de no calidad en los que debe incurrir.

Una vez que se comprende la diferencia entre las perspectivas organizacional y de calidad del servicio, es importante realizar una nueva clasificación entre indicadores objetivos y subjetivos:

1. Perspectiva Organizacional
2. Perspectiva del Cliente (Calidad del Servicio)
  - a) Indicadores Objetivos
  - b) Indicadores Subjetivos

Ambos son exponentes fundamentales de la calidad del servicio y, por lo tanto, de la comprobada o potencial existencia de Costos de No Calidad sobre los Clientes. Es decir, las fallas de calidad pueden derivar en un gasto incurrido por el usuario.

Los indicadores objetivos son aquellas mediciones cuantitativas que, por si mismas, no expresan si un resultado es adecuado o negativo, sino que deben ser comparados con un estándar o rendimientos pasados (Eboli & Mazzulla, 2012). En contraste, los indicadores subjetivos surgen de la medición de la percepción del usuario, a través de encuestas de satisfacción. Se recomienda una metodología que integre ambas perspectivas, a fin de minimizar los errores estadísticos que pueden surgir cuando los encuestados no son adecuadamente muestreados o cuando su percepción es demasiado heterogénea (Eboli & Mazzulla, 2012). Es importante destacar que un mismo indicador puede medirse de manera objetiva (planteando un estándar que lo represente) o bien de manera subjetiva (realizando una encuesta de satisfacción). Por ejemplo, la “seguridad” puede medirse en función a la cantidad de crímenes registrados en estaciones y formaciones o bien por la percepción del cliente.

Tabla 5

*Indicadores a analizar como posibles Fuentes de CNCC.*

Indicadores Objetivos	Indicadores Subjetivos
Demoras e interrupciones	Limpieza
Frecuencia programada	Comodidad
Tiempo de viaje	Seguridad
Cobertura Geográfica	Información Disponible
	Accesibilidad

*Nota Fuente: Elaboración propia.*

En este sentido, Metrovías no solo mide el índice de quejas y reclamos, sino que además conduce una encuesta de satisfacción para mejorar el servicio, la cual se encuentra disponible en su página web (Metrovías, s.f.) y hace hincapié en las siguientes dimensiones:

1. Disponibilidad (frecuencia, horarios de funcionamiento, red)
2. accesibilidad (entrada y salida de estaciones / trenes)
3. Facilidad de Uso (combinaciones, pago de pasaje)
4. Información del servicio en tiempo real (alternativas cuando surgen alteraciones)
5. Confiabilidad (viaje a tiempo)
6. Atención al usuario (útil, receptivos, accesibles)
7. Condiciones de viaje (limpieza, comodidad)
8. Seguridad

Todas estas, como se mencionó previamente, pueden ser medidas objetiva o subjetivamente. No obstante, la amplitud de tales dimensiones hace imperiosa la necesidad de acotar el análisis a aquellas con mayor peso en la experiencia del usuario. En este sentido, existe consenso de que el tiempo de viaje, el costo, la confiabilidad del tiempo de viaje (inexistencia de demoras), la frecuencia y el hacinamiento representan indicadores clave para determinar la elección de un medio de transporte (Tirachini, Hensher, & Rose, 2013). En consecuencia, se considerarán los indicadores de la Tabla 5 en el análisis de las fuentes de Costos de No Calidad sobre los Clientes.





---

## CAPÍTULO VI

### FUENTES DE COSTOS DE NO CALIDAD PARA EL CLIENTE

#### Análisis bibliográfico de fuentes

**Interrupciones.** Las interrupciones (también llamadas demoras) en el servicio usualmente forman parte de un indicador más amplio conocido como Confiabilidad, es decir, la capacidad de un sistema de transporte público de respetar su programación (Turnquist y Blume citados por Eboli y Mazzulla, 2012). Este puede medirse de diversas maneras: desde el porcentaje de formaciones que llegan y parten a horario, el exceso de tiempo de espera de los pasajeros en las estaciones o el exceso de tiempo de viaje real contra el programado (Eboli & Mazzulla, 2012). El método elegido dependerá de la información disponible y la perspectiva deseada. En este sentido, se destaca el ejemplo de Transport for London, quienes evalúan la calidad del servicio de subterráneos, siendo las horas perdidas del usuario uno de los indicadores seleccionados para medir la confiabilidad (Transport for London, 2016). Desde esta perspectiva, se prioriza el impacto de los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC).

Asimismo, esta perspectiva es complementada mediante el estudio realizado en 2003 por Oxford Economic Forecasting respecto a los efectos económicos de las demoras del transporte en la ciudad de Londres. En el mismo, se analiza su impacto desde el punto de vista de los usuarios, y por otro lado, de las corporaciones; en el caso de los primeros, las interrupciones generan (Oxford Economic Forecasting, 2003):

1. Pérdida de horas de trabajo por impuntualidad.
2. Pérdida de tiempo libre:
  - a) Mayor tiempo de viaje en el regreso desde el trabajo.
  - b) Mayor tiempo de previsión de salida calculado (para compensar posibles demoras).
  - c) Compensación de horas de trabajo perdidas.
3. Pérdida de productividad (puede afectar la remuneración).
4. Problemas de salud por estrés y disminución en calidad de vida,

Los diversos impactos de las interrupciones se reflejan en Costos de No Calidad sobre los Clientes, desde la elección de un servicio sustituto más costoso para evitar nuevas demoras hasta la pérdida de productividad, presentismo, salud e incluso el valor del tiempo libre. De todas formas, sea cual sea la pérdida, en todos estos casos el usuario debe incurrir en gastos para hacer frente a las fallas del servicio. En el estudio mencionado, se optó por no medir el costo generado por el tiempo extra de previsión o por el estrés, dada la complejidad de su cuantificación.

Desde la perspectiva del usuario, el tiempo de la interrupción debe ser ponderado para reflejar su costo oculto; tendrá mayor impacto cuando el usuario está esperando el servicio y no cuando ya ha abordado. Asimismo, el costo para el cliente se incrementa cuando no se brinda adecuada información sobre la causa de la falla y tiempo estimado de regularización del servicio (Oxford Economic Forecasting, 2003).

Finalmente, la valuación de las interrupciones se realizó en base a dos criterios:

- Pérdida de Horas de Trabajo: aplicada a las demoras producidas por impuntualidad. Dado que el empleado no suele recuperar dichas horas, el costo recaerá sobre el empleador. En consecuencia, su valuación considera el costo marginal del trabajo.

- Pérdida de Horas de Tiempo Libre: aplicada a las demoras en viajes desde el trabajo. La valuación del tiempo libre se realiza en función al valor del tiempo no laborable.

En resumen, las interrupciones impactan sobre los pasajeros en dos aspectos: reducen su tiempo libre (no laborable) y afectan su salud.

**Frecuencia programada.** La frecuencia programada forma parte de un conjunto de indicadores que componen la disponibilidad del servicio. Suele ser considerada, junto con las demoras, como los atributos con mayor peso en la evaluación de la calidad del servicio de transporte público (Eboli & Mazzulla, 2012). Además, la frecuencia del servicio influye en otros indicadores, tales como la comodidad (menor frecuencia representa mayor hacinamiento) y el tiempo de viaje (mayor espera en las estaciones).

Respecto a su medición, el indicador de frecuencia puede calcularse como el promedio de la cantidad de formaciones programadas por hora (Eboli & Mazzulla, 2012). Por lo tanto, una frecuencia limitada puede originar el siguiente impacto en los usuarios:

1. Problemas potenciales de salud por el estrés generado por un mayor hacinamiento .
2. Menor tiempo libre dadas las mayores esperas requeridas en las estaciones.

Al igual que el resto de las características aquí descriptas, un pobre desempeño en la frecuencia puede llevar a los pasajeros a optar por servicios sustitutos, tal como se expresó en la Figura 13. En estos casos, se evidencia claramente que la mala calidad en los subterráneos genera costos en la sociedad en su conjunto, ya que incluso los pasajeros de otros medios de transporte deberán incurrir en mayor tiempo o costo de viaje al seleccionar un servicio sustituto como el colectivo, el taxi o la bicicleta. No obstante, la medición del costo de optar por servicios sustitutos excede al enfoque de esta tesis, la cual tiene como objetivo medir los costos de no calidad sobre los usuarios del subterráneo e, indirectamente, sobre la sociedad.

Por lo tanto, el efecto de una pobre frecuencia se medirá a través de dos de sus manifestaciones más evidentes: la falta de comodidad reflejada en el hacinamiento y la pérdida de tiempo libre

---

como consecuencia del incumplimiento de la frecuencia programada. Cabe destacar que con este acotamiento se excluirá la medición de los CNCC por mayor tiempo de espera programado en las estaciones.

De la misma forma, una amplitud horaria de servicio insuficiente también genera costos adicionales en tiempo o dinero para aquellos pasajeros que deben recurrir a servicios sustitutos que sí estén disponibles. Transportation Research Board (2003) menciona que la diferencia entre el horario de la última formación y de la primera formación del día siguiente permite determinar su nivel de servicio (LOS):

- LOS A: Entre 19 y 24 horas de servicio. Proveen servicio nocturno.
- LOS B: Entre 17 y 18 horas de servicio. Proveen servicio hasta avanzadas horas de la noche.
- LOS C: Entre 14 y 16 horas de servicio. Proveen servicio en las primeras horas de la noche.
- LOS D: Entre 12 y 13 horas de servicio. Proveen servicio diurno.
- LOS E: Entre 4 y 11 horas de servicio. Proveen servicio solo en horas pico o de forma limitada al mediodía.
- LOS F: Entre 0 y 3 horas de servicio. Proveen servicio muy limitado o nulo.

(Transportation Research Board, 2003)

Si bien la falta de servicio puede constituir una clara fuente de costos de no calidad sobre la sociedad y, directamente, sobre las personas que no pueden hacer uso del mismo, se debe realizar la misma aclaración de la frecuencia programada. La medición del costo incurrido por aquellos que eligen (o se ven obligados a elegir) servicios sustitutos excede el acotamiento de esta tesis.

**Tiempo de viaje.** La velocidad de transporte o tiempo de viaje previsto se presenta como una de las principales ventajas competitivas del subterráneo respecto a otros medios de transporte públicos. Sin embargo, la existencia de interrupciones puede incrementar los tiempos de viaje y, con ello, la insatisfacción de los usuarios. Esta situación se expresa con el indicador “Exceso de Tiempo de Viaje”, el cual es la diferencia entre el tiempo de viaje programado y el tiempo real (Transport for London, 2016).

En conclusión, cuando el tiempo de viaje real difiere del programado, se pueden generar CNCC; empero, esta fuente ya es medida con las demoras del servicio. Por lo tanto, no se considerará como fuente de CNCC a fin de evitar la duplicación del impacto de las fallas en el servicio.

**Cobertura Geográfica.** La cobertura geográfica del servicio contribuye a la satisfacción del usuario cuando ofrece:

- Estaciones cerca del destino.
- Estaciones cerca del punto de partida (Transportation Research Board, 1999).

A diferencia de lo que sucede con otros medios de transporte públicos (como los colectivos), el área de recorrido del subterráneo no puede ser modificado en el corto plazo. Por lo tanto, este indicador es valioso al evaluar futuros proyectos de expansión del servicio, pero no tendrá un impacto significativo en la variación de la satisfacción del cliente a corto plazo.

Tabla 6

*Pasajeros Pagos Transportados por Línea de Subterráneo (en miles), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2013.*

Mes	Total	Línea A	Línea B	Línea C	Línea D	Línea E	Línea H
Enero	14.535	922	5.087	3.003	3.916	1.202	385
Febrero	13.353	27	4.957	2.771	4.063	1.192	357
Marzo	19.994	2.515	6.247	3.572	5.665	1.474	503
Abril	22.039	3.349	6.564	3.908	6.082	1.574	547
Mayo	24.408	3.825	7.206	4.331	6.670	1.746	616
Junio	21.769	3.400	6.385	3.811	6.049	1.537	572
Julio	24.375	3.814	7.420	4.287	6.606	1.651	579
Agosto	23.481	3.714	6.754	3.946	6.715	1.728	591
Septiembre	22.705	3.344	6.978	3.784	6.424	1.589	557
Octubre	24.656	4.104	7.212	4.039	6.834	1.797	644
Noviembre	21.638	3.501	6.569	3.437	5.988	1.551	563
Diciembre	19.353	3.386	5.945	3.125	5.045	1.274	547
<b>Total 2013</b>	<b>252.310</b>	<b>35.878</b>	<b>77.331</b>	<b>44.018</b>	<b>70.062</b>	<b>18.320</b>	<b>6.467</b>

*Nota Fuente: Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2018). Estadísticas ferroviarias: Pasajeros pagos transportados 1993-2018. Ministerio de Transporte de la Nación.*

No obstante, pueden surgir CNCC ante eventos tales como el cierre temporal de estaciones o de líneas completas. En 2013, la Línea A cerró la totalidad de su recorrido desde la segunda quincena de enero hasta febrero para realizar obras de sustitución de material rodante. El impacto en la cantidad de pasajeros registrado es notorio, dado que solo 922.602 personas pudieron utilizar el servicio (Tabla 6). Por lo tanto, debieron recurrir a medios de transporte sustitutos, lo cual puede haber generado CNCC en concepto de mayor tiempo de viaje (si se eligieron alternativas motorizadas o bicicletas) y/o mayor costo de transporte (al elegir taxis o vehículos particulares). Sin embargo, desde la realización de las obras, el número de pasajeros pagos en los meses de enero y febrero para la línea A registra una tendencia positiva (Figura 6).

Similarmente, en enero y febrero 2017 se iniciaron obras en la Línea C, lo cual obligó a cerrar la estación cabecera en Constitución. Si bien no representó un cierre completo de línea (como sucedió con la Línea A), el evento disminuyó en un 44 % el total de pasajeros de la Línea C respecto a los mismos meses del 2016 (Figura 6), aún cuando la misma seguía siendo operativa en gran parte de su traza. Los más de dos millones de pasajeros que no utilizaron la Línea C en

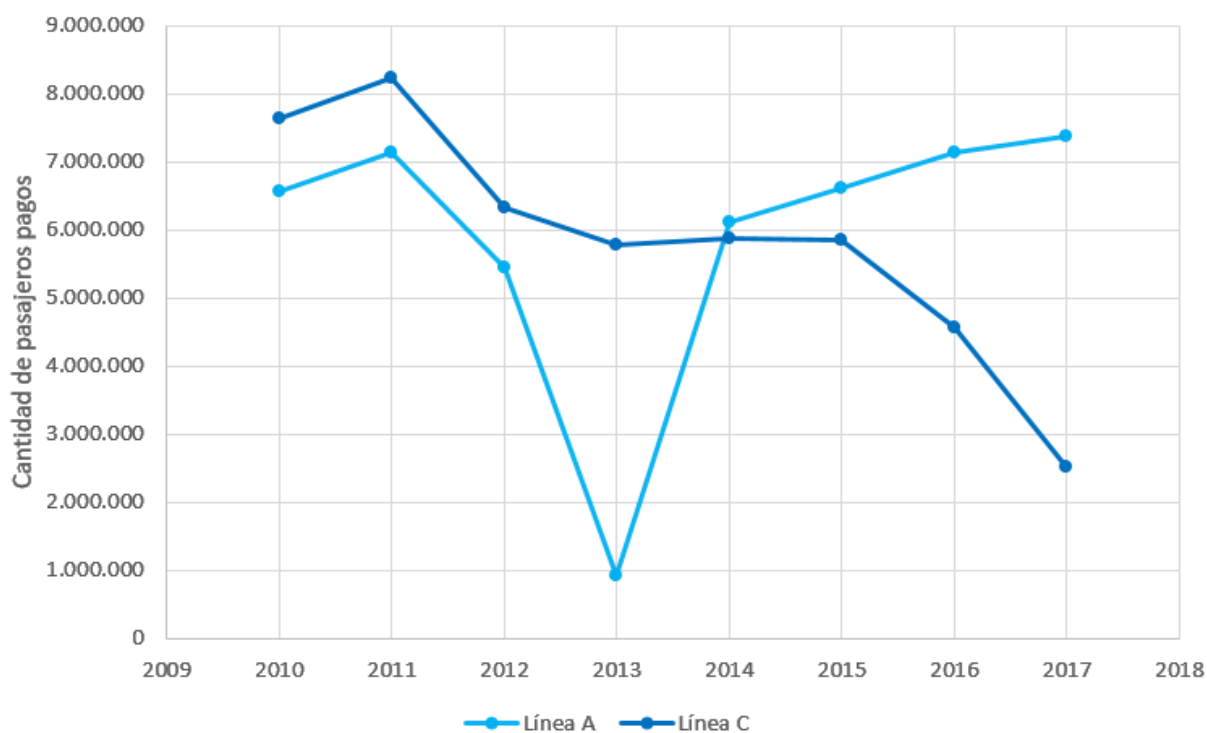


Figura 14.

Pasajeros pagos transportados en Línea A y Línea C. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Enero-Febrero de 2010 a 2017. **Nota** Fuente: Elaboración Propia en función a la información provista por Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2018). *Estadísticas ferroviarias: Pasajeros pagos transportados 1993-2018*. Ministerio de Transporte de la Nación.

enero y febrero del 2017 optaron por otros medios de transporte, generando mayor hacinamiento para los usuarios de colectivos y, de esta forma, incrementando sus costos de no calidad.

**Limpieza.** El servicio de subterráneos debe asegurar un nivel adecuado de limpieza para lograr la satisfacción deseada de sus usuarios. La limpieza es un indicador que puede medirse a través de (Transportation Research Board, 1999):

1. Limpieza del interior, asientos y ventanas de las formaciones.
2. Limpieza de las estaciones.
3. Limpieza del exterior de las formaciones.
4. Ausencia de graffitis.
5. Ausencia de malos olores.

La evaluación del nivel de limpieza puede realizarse objetiva o subjetivamente. Tal como se comentó precedentemente, las inspecciones llevadas a cabo por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte miden la limpieza de estaciones y material rodante. No obstante, las percepciones de los usuarios también adquieren una importancia fundamental, dada la naturaleza altamente subjetiva del nivel requerido para este indicador. En consecuencia, se destaca la necesidad de rea-

lizar encuestas regulares sobre el nivel de satisfacción con la limpieza.

En este sentido, la prestación de un servicio con un adecuado nivel de limpieza promueve una imagen pública positiva y ayuda a atraer y mantener el número de pasajeros (Transportation Research Board citado por Eboli y Mazzulla, 2012). Sin embargo, es poco claro si el desempeño de este indicador podría generar Costos de No Calidad sobre los Clientes, a menos que las condiciones de limpieza sean lo suficientemente inadecuadas para forzar a los usuarios a optar por servicios sustitutos.

**Comodidad.** Además de la limpieza y la seguridad, la comodidad es un componente clave del servicio. Al mismo tiempo, el principal contribuyente a la comodidad es el grado de hacinamiento en el transporte público (Eboli & Mazzulla, 2012). Las sensaciones generadas al compartir un espacio físico limitado en proximidad con otras personas superan el mero disgusto; Tirachini y col. (2013) citan a varios autores al afirmar que dichas sensaciones incluyen:

1. Riesgos para la seguridad e integridad personal.
2. Ansiedad, estrés y sentimiento de cansancio.
3. Invasión a la privacidad.
4. Posibles descompensaciones de salud.
5. Tendencia a llegar tarde al trabajo.

No obstante, los efectos del hacinamiento no se detienen en su influencia sobre la percepción de los usuarios, ya que también afectan el desempeño del tiempo de viaje y la confiabilidad del servicio. A medida que se incrementa el número de pasajeros, también lo hace el tiempo que toma descender o ascender a la formación (Tirachini y col., 2013), aumentando el tiempo de viaje. Puong (citado por Tirachini y col., 2013) explica que, cuando no existe hacinamiento, el tiempo promedio de ascenso es de 2,3 segundos por pasajero; por otro lado, cuando hay entre 10 y 15 pasajeros parados por puerta, el tiempo aumenta desde 2,9 segundos a 4,4 segundos por pasajero, respectivamente.

Asimismo, una mayor cantidad de pasajeros aumenta la probabilidad de que otros usuarios no puedan abordar a la formación, incrementado así la demora experimentada. Al mismo tiempo, las mayores demoras producen más hacinamiento en formaciones subsiguientes, dado que los pasajeros que no pudieron abordar en una primera oportunidad se encuentran esperando. De esta manera, existe retroalimentación entre las demoras y el hacinamiento .

En resumen, el hacinamiento genera los siguientes efectos:

1. Estrés, ansiedad y riesgos para la salud.
2. Mayor tiempo de viaje.

- 
3. Mayores demoras.
  4. Menor tiempo libre dados los items 2 y 3.
  5. Mayor probabilidad de accidentes (por ejemplo, por el bloqueo de puertas).

Por otro lado, existen diversos indicadores para medir el nivel de hacinamiento . Entre ellos, se mencionan:

1. Factor de carga o *load factor*: calculado como el ratio entre el número de pasajeros y la cantidad de asientos (Whelan y Crockett citados por Tirachini y col., 2013) o bien como la capacidad nominal del coche (varios autores citados por Tirachini y col., 2013).
2. Densidad de pasajeros parados por metro cuadrado: se destaca por brindar más información sobre el estado de comodidad de los pasajeros que no están sentados (Wardman y Whelan citados por Tirachini y col., 2013). Por ejemplo, el Metro de Madrid enuncia su compromiso de que el 95 % de los clientes en hora pico viajen con una ocupación igual o inferior a 4 clientes/ $m^2$  (Metro de Madrid, 2017).

Por lo tanto, ¿el hacinamiento puede generar Costos de No Calidad sobre los Clientes? Considerando los efectos que tiene sobre la percepción del mismo y sobre indicadores objetivos, no existen dudas que produce costos que deben asumir los usuarios y que afectan sus decisiones sobre medio de transporte, ruta y horario de partida. En este sentido, Transport Committee (2003) nota que el horario pico de la tarde registra menor hacinamiento, dado que los usuarios cuentan con mayor flexibilidad para decidir el horario de partida luego del trabajo y están dispuestos a demorar su regreso con tal de reducir el hacinamiento experimentado.

Tirachini y col. (2013) mencionan que, a mayor hacinamiento , mayor será la tarifa extra que los pasajeros estarán dispuestos a pagar para reducir los tiempos de viaje. Este parámetro es conocido como el Multiplicador de hacinamiento o *crowding multiplier* y representa la externalidad que genera este fenómeno. Cuando se considera este costo o externalidad para determinar las frecuencias y capacidad del servicio, se mejora la calidad del mismo (Jara-Díaz y Gschwender citados por Tirachini y col., 2013) y, por lo tanto, se reducen los CNCC.

**Seguridad.** Existen dos dimensiones que conforman la percepción de seguridad de los pasajeros: el riesgo de ser víctima de crímenes o de sufrir un accidente. A pesar de que rara vez se los incluye en los modelos de predicción de demanda, numerosos estudios han dado cuenta de la importancia de este factor en las evaluaciones de los pasajeros (Eboli & Mazzulla, 2012).

Existen diversos indicadores cuantitativos para medir el nivel de seguridad en un servicio de transporte público. Desde el número de muertes de pasajeros por responsabilidad del operador del servicio (Nathanail citado por Eboli y Mazzulla, 2012), cantidad de crímenes en estaciones y formaciones o accidentes provocados por negligencia del personal (Transportation Research Board,

1999). Por ejemplo, el Metro de Santiago de Chile mide la tasa de delitos (Metro de Santiago, 2013) y la Comisión Nacional de Regulación del Transporte monitorea las estadísticas de accidentes, sus causas y la cantidad de personas fallecidas (Comisión Nacional de Regulación del Transporte, 2016). Independientemente de las cifras objetivas de hechos delictivos o accidentes, la percepción del usuario será fundamental para medir este indicador. Por lo tanto, el nivel de seguridad no solo puede generar CNCC cuando tome lugar un evento de estas características (por gastos médicos o materiales) sino que la existencia de un riesgo percibido también provocará sensaciones de estrés y ansiedad. Asimismo, y como se comentó en el apartado anterior, el hacinamiento puede disminuir el nivel de seguridad real y percibido para el usuario (Transport Committee, 2003).

**Información Disponible.** Los usuarios del servicio de transporte público requieren información precisa, oportuna y accesible para planificar y realizar sus viajes sin complicaciones (Eboli & Mazzulla, 2012). Por ello, es importante que el operador del servicio provea información sobre interrupciones, combinaciones, estaciones, arribos, frecuencia, entre otros. Si estos datos no son comunicados, el pasajero puede necesitar más tiempo para llegar a su destino.

Respecto a su medición, Transportation Research Board (1999) sugiere indicadores tales como disponibilidad de horarios y mapas en estaciones, anuncios claros y oportunos sobre estaciones, información visible sobre número para quejas e información sobre demoras y sus causas. En este sentido, los subterráneos presentan la información de manera más sencilla que otros servicios sustitutos, tales como los colectivos. No obstante, y al igual que sucede con otros indicadores subjetivos, la palabra final sobre la utilidad y claridad de la información disponible la tendrá el propio usuario. Por ello, se recomienda la realización de encuestas de satisfacción que midan esta dimensión.

**Accesibilidad.** Es definida como la facilidad de acceder a las estaciones (Litman, 2017), especialmente orientada a la existencia de instalaciones (tales como ascensores o escaleras mecánicas) que permitan su utilización por personas con movilidad reducida. Con este objetivo, los operadores del servicio de subterráneos inspeccionan el correcto funcionamiento de dichas instalaciones y miden su disponibilidad como el total de horas de funcionamiento real sobre el total de horas de funcionamiento programado.

La existencia de fallas en las instalaciones no solo genera costos de no calidad para los pasajeros con movilidad reducida, sino que además puede derivar en un congestionamiento de otras vías de acceso.



## Selección de Fuentes de CNCC

El análisis de las posibles fuentes de CNCC descriptas precedentemente debe concluir con la selección de aquellas cuya existencia se verifique en los subterráneos de Buenos Aires. Asimismo, se deben tener en cuenta las fuentes de mayor relevancia, es decir, aquellas con mayor impacto sobre los usuarios.

**Ponderación de fuentes de CNCC por usuarios.** De acuerdo al apartado anterior, la frecuencia y el tiempo de viaje no generarían CNCC por sí mismas, ya que serán sus consecuencias (como las demoras y el hacinamiento) aquellas que originen costos para los usuarios. Adicionalmente, la Cobertura Geográfica solo producirá CNCC ante eventos extraordinarios como cierre de estaciones, las cuales son adecuadamente comunicadas. En consecuencia, tampoco serán tomadas en cuenta como CNCC.

Con el objetivo de evaluar la importancia de los restantes atributos del servicio, se consideraron los resultados de una encuesta realizada por la consultora Isonomía en Marzo 2017 a 1.200 pasajeros de la red de subterráneos (Isonomía, 2017). En ella, se les consultó qué aspecto del servicio consideraban más prioritario.

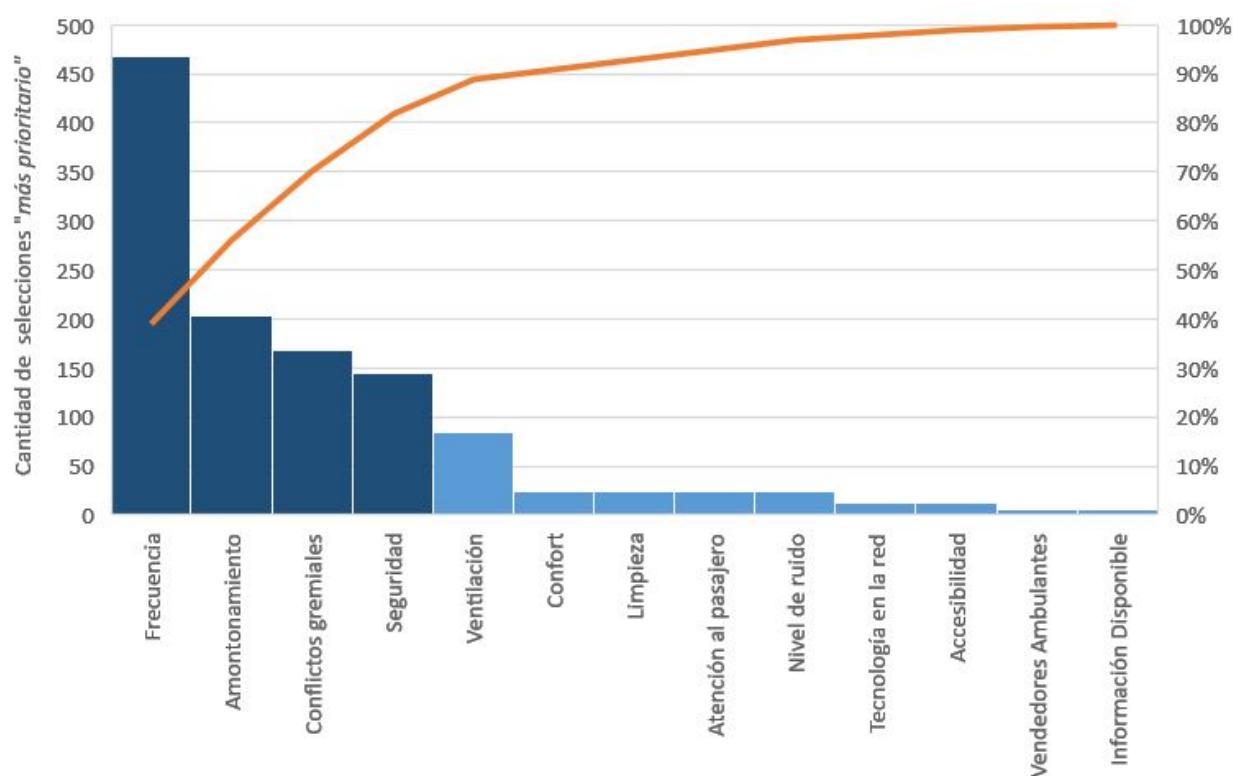


Figura 15.

Aspectos del servicio de Subterráneo con mayor prioridad para los usuarios. **Nota** Fuente: Elaboración propia en base a la información de Isonomía (2017). *Encuesta Coincidental Subte - Marzo 2017*. Isonomía Consultores. Buenos Aires.

El diagrama de Pareto de la Figura 15 demuestra que las interrupciones (reflejadas en la

importancia de la frecuencia y de los conflictos gremiales) y el amontonamiento (hacinamiento) fueron elegidas por el 70 % de los usuarios como los aspectos más relevantes en el servicio. Además, la seguridad (ante crímenes y ante accidentes) alcanzó el 12 % del total. Similar desempeño demuestran ante la consulta de qué aspectos le brindan mayor satisfacción (Isonomía, 2017).

Si bien Montgomery (2013) afirma que el diagrama de Pareto no necesariamente muestra las causas más importantes (solo las más frecuentes), existe evidencia bibliográfica de que los resultados de la Figura 15 representan las fuentes de CNCC más relevantes para el usuario. Por ejemplo, la investigación de Eboli y Mazzulla (2012) sostiene que las interrupciones y el hacinamiento (comodidad) son elementos clave de la satisfacción del usuario. Asimismo, se afirma que los costos de no calidad son causados por la insatisfacción de los clientes (Taguchi y col., 2005).

Cabe destacar que los tres primeros aspectos dan cuenta de la mentada retroalimentación existente entre la frecuencia, el hacinamiento y las demoras. Es decir, una pobre frecuencia y la existencia de interrupciones derivan en un mayor hacinamiento, lo cual es fuente de nuevas demoras en el servicio por la dificultad de descensos y nuevos ascensos a la formación. Asimismo, los conflictos gremiales y paros en el servicio constituyen una importante fuente de demoras.

En resumen, las fuentes de CNCC con mayor ponderación para el usuario son:

1. Interrupciones
2. Hacinamiento (comodidad)
3. Seguridad

**Evidencia fáctica de existencia de fuentes.** Considerando los resultados expuestos en la Figura 15, se analizará evidencia estadística que ilustre el impacto de las fuentes de CNCC con mayor ponderación. Si no se verifican fallas relevantes en los aspectos seleccionados, no se producen costos de no calidad sobre los pasajeros.

Respecto a las interrupciones, la Figura 16 da cuenta del creciente problema que representan en el servicio; los usuarios perdieron un total de 1.335,77 horas en 2016, de las cuales 38,63 % fueron generadas en el Premetro.

Desde 2014, se registran paulatinos aumentos en la cantidad de tiempo de interrupciones en las líneas B, E y H, lo cual tiene consecuencias directas sobre el grado de hacinamiento de los pasajeros. Al mismo tiempo, este puede ser agravado por una pobre frecuencia. Por estos motivos, no existen dudas que las demoras y el hacinamiento son fuentes de Costos de No Calidad sobre los Clientes en los subterráneos de Buenos Aires.

Por otro lado, y a diferencia de los abrumadores resultados de demoras y hacinamiento, el rol de la seguridad en la generación de CNCC merece un análisis más detallado, ya que solo fue seleccionado por el 12 % de los encuestados.

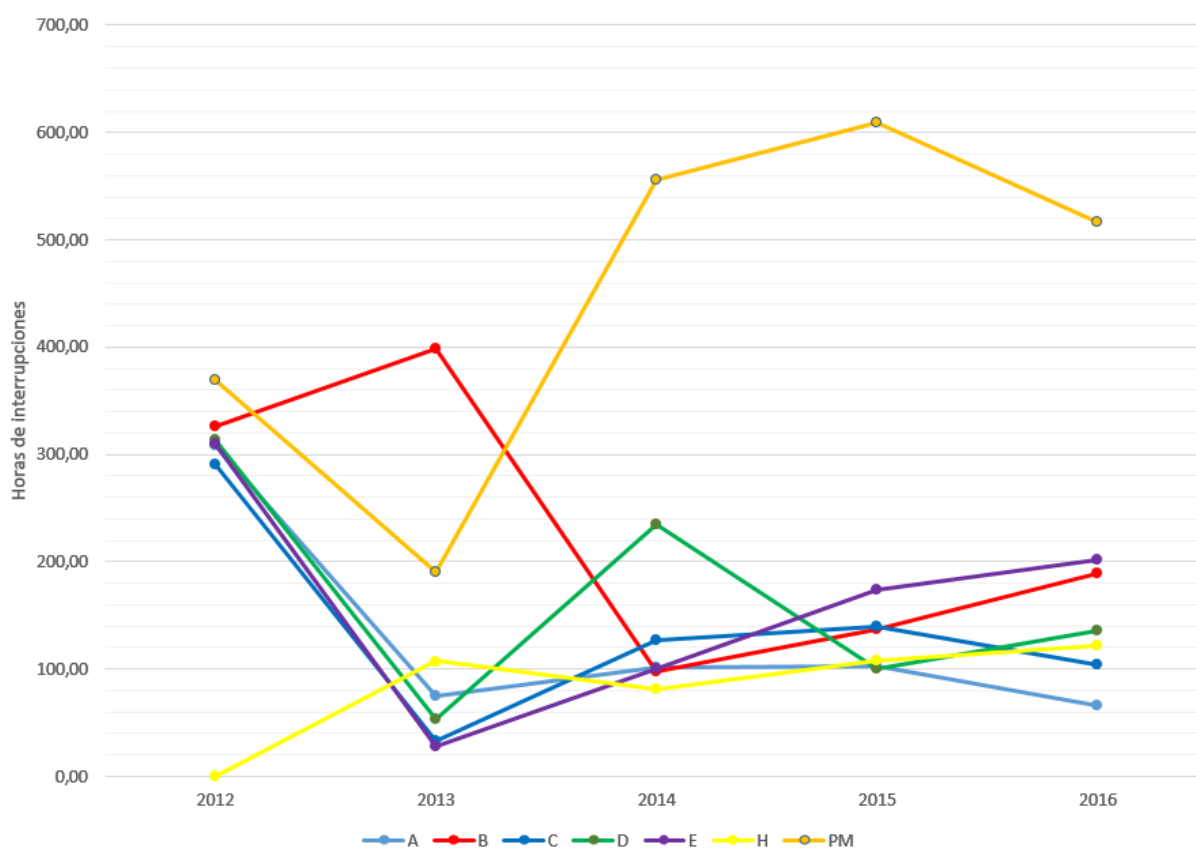


Figura 16.

Horas totales de interrupciones en Subterráneos de Buenos Aires (2012-2016). **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información brindada por Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017). *Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Interrupciones del servicio SUBTE - Cantidad de Pasajeros*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.

Considerando que la percepción de los clientes juega un papel fundamental, se tomaron en cuenta los resultados de la Encuesta de Satisfacción con el servicio de Subterráneos (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2017b), la cual se realiza dos veces por año desde 2012 (ver Apéndice A). Se excluyeron características que no responden a los indicadores planteados en la Tabla 5, como Trato del Personal, Medios de Pago y Costo del Pasaje.

En la Figura 17, se vislumbra que la seguridad ante delitos es el indicador con peor desempeño, ya que obtuvo un nivel de satisfacción de solo el 35 %. Por otro lado, la seguridad ante accidentes se ubicó en 47 %. El pobre desempeño del primer indicador obliga a profundizar en su impacto en la satisfacción global con el servicio. Para ello, se realizaron dos diagramas de dispersión donde el porcentaje de usuarios que fueron víctimas de delitos es la variable independiente (Figuras 18 y 19).

En la Figura 18, se seleccionó al Porcentaje de Satisfacción de los Pasajeros respecto a la Seguridad como la variable dependiente. Las observaciones están compuestas por las respuestas

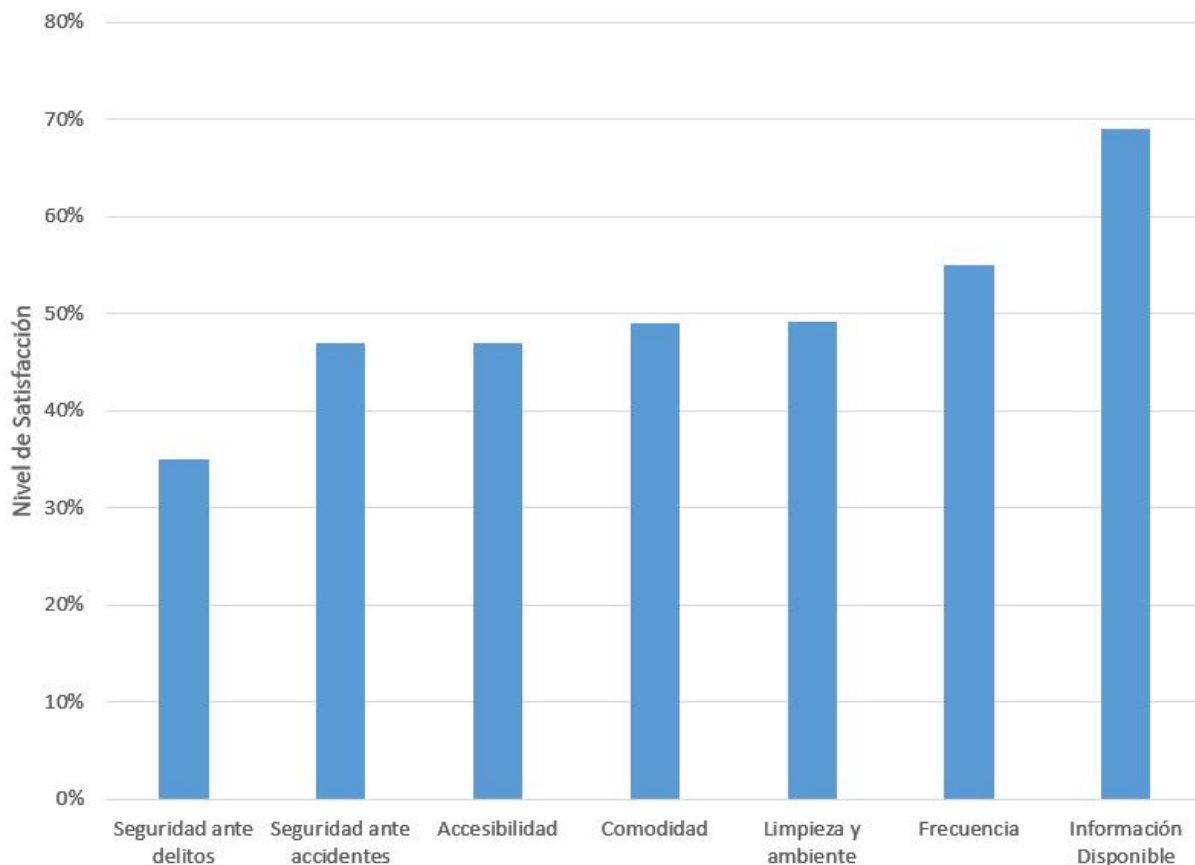


Figura 17.

Porcentaje de satisfacción con el servicio de Subterráneo (2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información brindada por Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2017). Resultados de la encuesta sobre el servicio de subte. Recuperado el 26/10/2017, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/resultados-de-la-encuesta>

brindadas por los usuarios del subterráneo en encuestas realizadas entre Julio 2014 y Marzo 2017 (Isonomía, 2017). Las preguntas efectuadas incluyeron:

- Variable independiente  $x$ : ¿Fue víctima de algún hecho de inseguridad en el subte en los últimos 6 meses?
- Variable dependiente  $y$ : ¿En qué medida está usted satisfecho con el control de robos y delitos?

El Coeficiente de Correlación de Pearson ( $r = -0,755$ ) para la Figura 18 demuestra la existencia de una potencial relación significativa entre variables. Sin embargo, la imposibilidad de modificar, en un ambiente controlado, los niveles de  $x$  (por su naturaleza observacional) impiden diseñar un experimento, por lo que no es posible verificar causalidad (Montgomery, 2013). Similar análisis se desprende de la Figura 19, donde se aborda la relación entre la misma variable independiente respecto al Porcentaje de Satisfacción Global con el servicio. En este caso, el Coeficiente de Correlación de Pearson es más débil ( $r = -0,703$ ).

Dado que no es posible determinar causalidad entre las variables, la medición del impacto

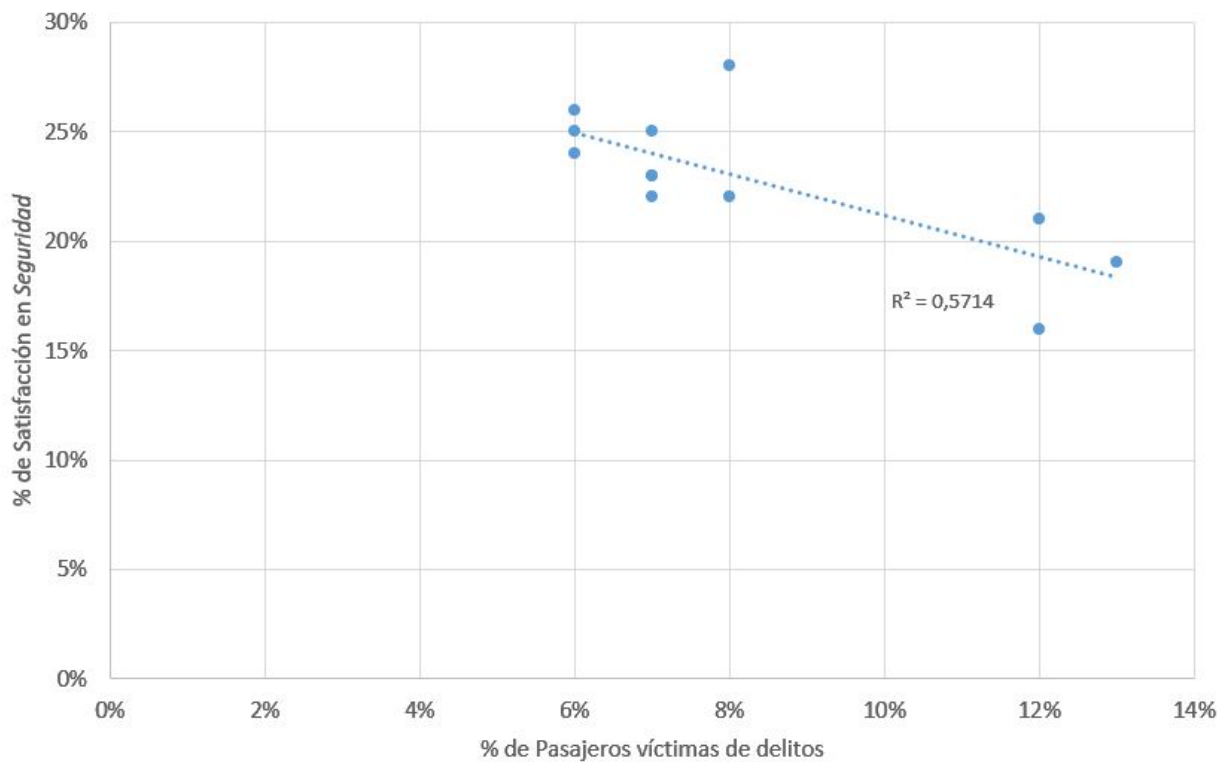


Figura 18.

Correlación entre el porcentaje de pasajeros víctimas de delitos y la satisfacción con el indicador “seguridad”. **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información brindada por Isonomía (2017). *Encuesta Coincidental Subte - Marzo 2017*. Isonomía Consultores. Buenos Aires.

de la seguridad ante delitos en la generación de CNCC se sustentó simplemente en el porcentaje de pasajeros afectados. Para determinarlo, se descartó el número de quejas y denuncias de los usuarios, ya que la atención ante reclamos es el indicador con peor desempeño en el servicio de subterráneos. En cambio, se utilizaron los resultados de las encuestas realizadas por Isonomía (2017); de un total de 1.200 encuestados, solo 72 personas indicaron haber sido víctimas de un delito en los últimos seis meses. Es decir, la inseguridad afectó a solo el 6 % de los pasajeros.

Por lo tanto, la seguridad ante delitos no será considerada en el análisis de los CNCC, ya que solo un 12 % de los usuarios la considera relevante y ha afectado al 6 % de los mismos en 2017.

En conclusión, se determina que las fuentes de costos de no calidad sobre los usuarios de subterráneos de Buenos Aires que se medirán son las interrupciones y el hacinamiento. Para ello, se utilizará la Función de Pérdida de Calidad (QLF) de Genichi Taguchi, la cual permite cuantificar monetariamente el costo en que deben incurrir los usuarios ante las fallas de calidad e, indirectamente, la sociedad en su conjunto.

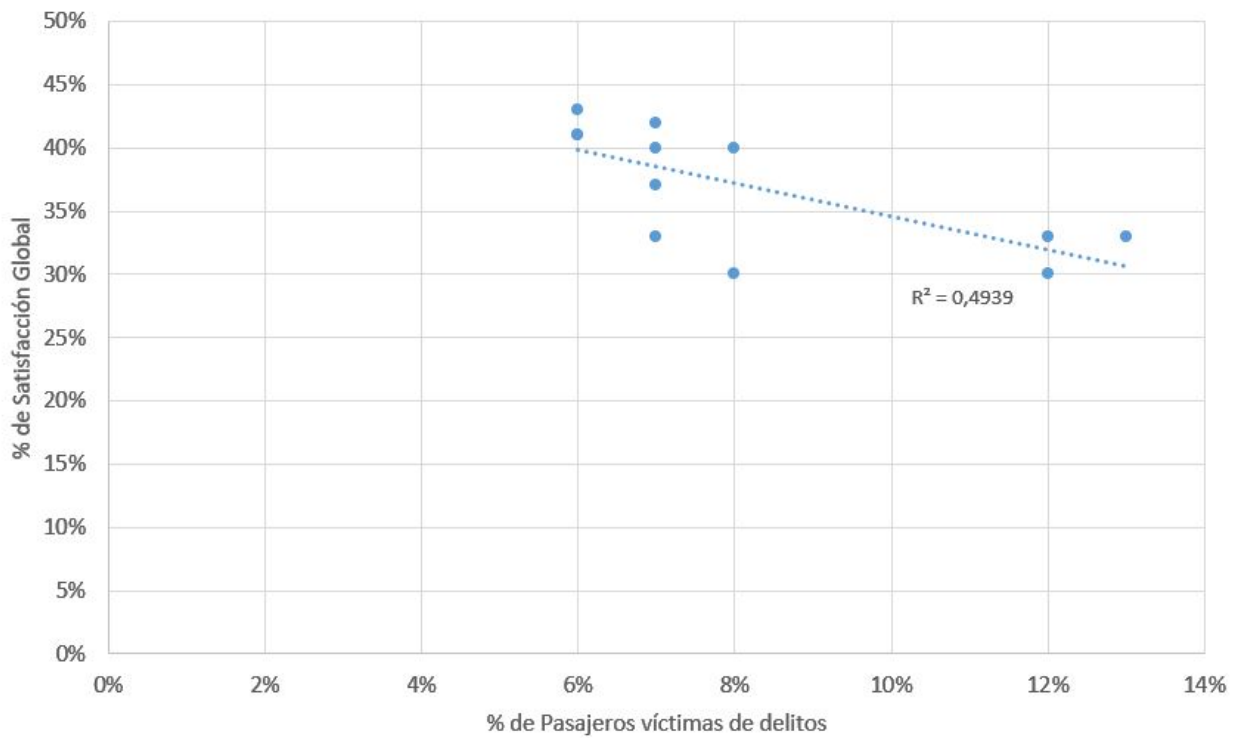


Figura 19.

Correlación entre el porcentaje de pasajeros víctimas de delitos y la satisfacción global con el servicio de Subterráneos. **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información brindada por Isonomía (2017). *Encuesta Coincidental Subte - Marzo 2017*. Isonomía Consultores. Buenos Aires.

---

## CAPÍTULO VII

### FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE CALIDAD (QLF) PARA INTERRUPCIONES

#### Selección del Modelo

La medición de los Costos de No Calidad sobre los Clientes generado por las interrupciones se enmarca dentro del Modelo “Menor Mejor” o Smaller-the-better (STB) propuesto por Taguchi para aquellos casos en los que el valor más deseado de la característica de calidad sea cero ( $m = 0$ ), no sea posible obtener resultados negativos y se midan características indeseadas del sistema (Taguchi y col., 2005).

Dado que  $m = 0$ , la Función de Pérdida de Calidad (QLF) se convierte en:

$$L = k(\sigma^2 + \bar{y}^2) \quad (7)$$

Siendo:

- $L$ : los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC), es decir, la pérdida monetaria que debe asumir el usuario e, indirectamente, la sociedad cuando el producto no cumple el target fijado para su característica de calidad.
- $y$ : el valor adoptado por la característica de calidad. En este caso, la característica de calidad seleccionada son las horas de interrupciones por día.
- $k$ : la pérdida monetaria para la sociedad generada por una unidad de desvío en el valor de la característica de calidad  $y$  respecto a  $m$ .
- $\sigma^2 + \bar{y}^2$ : el Error Cuadrático Medio o MSD.

En otras palabras, la minimización de las demoras permite reducir los CNCC y, en consecuencia, incrementar su satisfacción. Asimismo, la Ecuación 7 posee dos componentes. Por un lado, el conjunto de desvíos respecto a  $m$ , los cuales son reflejados en el MSD y cuya existencia genera CNCC. Por el otro, la constante  $k$  que permite monetizarlos.

#### Definición del valor de $k$

La constante  $k$  que monetiza a los desvíos está representada por la Ecuación 8:

$$k = \frac{A_0}{y_0^2} \quad (8)$$

El valor  $y_0^2$  representa el cuadrado de la tolerancia del cliente o límite funcional, es decir, el valor de la característica de calidad a partir del cual el servicio deja de ser funcional para el usuario. En el Capítulo III, el límite funcional del producto fue llamado  $\Delta_0$ , ya que representaba

la máxima diferencia entre  $m$  e  $y$  que el usuario estaba dispuesto a aceptar sin ver comprometida su funcionalidad. Sin embargo, dado que  $m = 0$  en el Modelo STB, el límite funcional es  $y_0^2$ .

Por otro lado,  $A_0$  es el costo de la contramedida que debe asumir el consumidor cuando la característica de calidad adopta el valor  $y_0^2$ ; por ejemplo, el costo de reparación del bien o del servicio. La Figura 6 muestra la relación existente entre el límite funcional y el costo de su contramedida.

**Determinación de  $y_0^2$ .** La definición del valor  $y_0^2$  puede adoptar distintos grados de complejidad. Por ejemplo, si se mide el grosor de una hoja de vinilo como su característica de calidad (Taguchi y col., 2005), el Límite Funcional está en su punto de rotura. Es decir, el bien o servicio se rompe y es incapaz de cumplir su función. En el caso del transporte público de pasajeros, una avería técnica o causas de fuerza mayor (una inundación o falta de suministro eléctrico) impiden por completo brindar el servicio.

Sin embargo, en reiteradas oportunidades, la tolerancia del cliente es aún más exigente que un posible punto de rotura. Es decir, no hace falta que el bien se rompa para que el usuario vea afectada su funcionalidad. En estos casos,  $y_0^2$  está estrechamente ligada a la satisfacción del consumidor, por lo que Taguchi y col. (2005) recomiendan: “Para cada característica de un producto podemos encontrar un valor a partir del cual el 50 % de los consumidores consideran que el producto no funciona” (p. 193). Es decir, cuando la característica de calidad adopta un valor  $y$  que obliga a la mitad de los usuarios a una contramedida  $A_0$ , entonces se está ante el Límite Funcional del Producto.

Para determinar el límite funcional en el caso de las interrupciones en el servicio de subterráneos, se considerará el estándar de una hora de demora. Esta decisión responde a dos factores:

- Una hora de interrupción es el valor recomendado por los Departamentos de Transporte de distintos países para monetizar los ahorros en el tiempo de viaje. Tal es el caso de, entre otras, las Guías del Departamento de Transporte de Estados Unidos (Belenky, 2011) y de Reino Unido (citado por Oxford Economic Forecasting, 2003).

- De acuerdo a la definición de Taguchi, una unidad de desvío respecto al target  $m = 0$  genera el costo  $k$  para el consumidor (Taguchi y col., 2005). Si el target está medido en horas, entonces una unidad de desvío será una hora de demora, la cual generará un costo equivalente a  $k$ .

En conclusión,  $y_0^2 = 1$  permite adaptar los conceptos genéricos de Taguchi al consenso existente en la literatura sobre la medición de la calidad del transporte de pasajeros, donde se utiliza una hora de demora como medida estándar para calcular el valor de los ahorros en los tiempos de viaje y, por lo tanto, el impacto monetario sobre el cliente. Asimismo,  $y_0^2 = 1$  también se adapta al concepto de “una unidad de desvío” propuesta por Taguchi cuando el target esté medido en horas. De esta forma, se crea un marco común sobre el cual convergen conceptualmente la Función de Pérdida de Calidad con las recomendaciones bibliográficas sobre la monetización de los ahorros



---

para el usuario en su tiempo de viaje.

**Determinación de  $A_0$ .** Respecto a la contraprestación monetaria requerida por el consumidor ante horas de interrupciones, existen diversos criterios presentes en la bibliografía.

Naveh y Halevy (1999) toman al ingreso promedio diario de un asalariado como  $A_0$ , siendo  $y_0^2$  igual a un día laboral. Asumen que el costo de la pérdida de un día de trabajo por fallas de calidad es eventualmente financiado por el empleado, ya sea directamente por descuento del día o indirectamente a través de días de vacaciones (Naveh & Halevy, 1999). En este caso,  $k$  es multiplicado por los días laborales perdidos por los usuarios en un año para obtener los CNCC anuales. Por ejemplo, si el ingreso promedio diario de un trabajador israelí ( $A_0$ ) es USD 75 y la población activa ha perdido 1,75 días de trabajo anual por hogar, el Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) es USD 131,25 anual por hogar, o USD 175 millones para el total de la economía. En otras palabras, si  $k = \frac{\$75}{1^2}$ , entonces:

$$L = 1,75k \quad (9a)$$

$$L = 1,75 * \$75 = \$131,25 \quad (9b)$$

Sin embargo, los autores aclaran:

Se puede asumir sin dudas que la verdadera pérdida para la economía, causada por servicios deficientes a los individuos, es mucho mayor: la ausencia laboral afecta adversamente a la cadena de producción o de servicios prestados por las organizaciones, dada la alta interdependencia entre distintos trabajadores, dentro o fuera de la misma organización. (Naveh & Halevy, 1999)

En otras palabras, reconocen que el simple producto resultante de multiplicar los días laborales perdidos por el ingreso diario promedio no es suficiente. En este contexto, la Función de Pérdida de Calidad de Taguchi permite corregir esta limitación a través de una aproximación cuadrática y parabólica (Taguchi y col., 2005) que considere el Error Cuadrático Medio (MSD). De esta forma, se obtiene un resultado más cercano al verdadero costo que representan las fallas de calidad para los consumidores e, indirectamente, para la sociedad en su conjunto. Asimismo, ¿es correcto tomar como  $A_0$  al costo laboral? De hecho, las interrupciones no solo generan pérdida de horas de trabajo, sino que además reducen el tiempo libre disponible de sus usuarios. Por ello, es prudente considerar el valor del tiempo libre para estimar el costo  $A_0$  de las demoras sobre los usuarios del servicio de subterráneos.

Mientras que en el viaje de ida puede perderse tiempo libre y tiempo de trabajo, no caben dudas que las demoras en los regresos afectan en su totalidad al tiempo libre de los pasajeros (Oxford Economic Forecasting, 2003). De hecho, el 80 % de los pasajeros de los subterráneos de Buenos Aires lo utilizan para ir o volver de sus trabajos (Isonomía, 2017). A diferencia de lo afirmado por Naveh y Halevy (1999), el tiempo de trabajo perdido representa un costo para los

empleadores, el cual no es objeto de esta tesis. En cambio, los costos de no calidad para el pasajero (CNCC) están dados por la pérdida de su tiempo libre, tal como sostienen el Departamento de Transporte de Reino Unido (citado por Oxford Economic Forecasting, 2003) y Belenky (2011). El empleado que llega tarde debe sacrificar tiempo libre como consecuencia de las demoras, ya sea por compensar horas de trabajo o por arribar más tarde a su hogar.

Entonces, si  $A_0$  es equivalente al valor del tiempo libre, ¿cómo se calcula? Oxford Economic Forecasting, citando al Departamento de Transporte de Reino Unido (2003), establece que es equivalente al Valor de los Ahorros en Tiempo de Viaje (VATV) para horas no trabajadas. Este valor suele utilizarse para evaluar los futuros beneficios de una inversión privada o pública en transporte, por lo que diversos organismos gubernamentales brindan recomendaciones sobre su cálculo. Tal es el caso del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, el cual afirma que los beneficios de reducir el tiempo de viaje incluyen aumentar el tiempo libre de los usuarios y reducir su exposición a condiciones inseguras o incómodas (Belenky, 2011). Asimismo, brindan las siguientes recomendaciones:

- El tiempo de viaje desde y hacia el lugar de trabajo se debe valorar como tiempo personal, no como tiempo laboral. Este último solo se aplica a los viajes de negocios. En este aspecto, coinciden con lo expresado por el Departamento de Transporte de Reino Unido (Oxford Economic Forecasting, 2003).

- El VATV es menor para los viajes personales que para los laborales.

- La mejor variable para estimar VATV laboral es la mediana del ingreso bruto por hora para todas las ocupaciones a nivel nacional.

- La mejor variable para estimar VATV personal equivale al 50 % de la mediana del ingreso de los hogares a nivel nacional por hora. Cuando el tiempo reducido es aquel que se emplea esperando en una estación, se debe considerar el 100 % del valor descripto (ver Tabla 7).

Por lo tanto, el VATV laboral solo considera la perspectiva organizacional, la cual ya se ha mencionado que no es objeto de esta tesis. En cambio, el VATV personal otorga una respuesta al dilema de la monetización de las demoras sufridas por los pasajeros. En este caso, la reducción de interrupciones implica un  $A_0$  equivalente al 100 % de la mediana del ingreso de los hogares por hora, ya que el ahorro del tiempo de viaje se hace sobre el tiempo de espera. Como se ha mencionado previamente,  $y_0^2$  es igual al estándar de una hora de demora. Por lo tanto, si  $k$  es el costo generado por una unidad de desvío respecto al target  $m = 0$ , una hora de interrupciones (es decir, una unidad de desvío) genera una pérdida equivalente a una hora de la mediana del ingreso de los hogares. Entonces, una vez que se ha definido que  $A_0$  es la mediana del ingreso de los hogares por hora, se debe obtener dicho valor.

Para ello, el ingreso de los hogares puede considerarse a nivel regional según el área geográ-

Tabla 7

Valores de Ahorros de Tiempo de Viaje Recomendados ( % ingreso por persona y por hora)

Categoría	Viajes en Modos de superficie		Viajes en Avión y Trenes Alta Velocidad
	Tiempo en viaje	Tiempo en caminar, esperar o combinar	
Viajes Locales - Personales	50 %	100 %	
Viajes Locales - Laborales	100 %	100 %	
Viajes Larga Distancia - Personales	70 %	100 %	70 %
Viajes Larga Distancia - Laborales	100 %	100 %	100 %

*Nota Fuente: Adaptado de Belenky, P. (2011). Revised Departmental Guidance on Valuation of Travel Time in Economic Analysis. U.S. Department of Transportation. Washington, D.C.*

fica objeto de la investigación (Asensio and Matas y Small et al. citados por Belenky, 2011) o a nivel nacional. De acuerdo a la Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires (2017b), la mediana del Ingreso Total Familiar (ITF) para el primer trimestre del 2017 en la Ciudad de Buenos Aires fue 24.500 pesos argentinos (valores corrientes) por mes.

No obstante, la consideración del ITF a nivel regional presenta dos inconvenientes. Por un lado, existen reservas metodológicas, ya que impide comparar los resultados con otras regiones o ajustar los estimativos pasados a nuevas poblaciones (Belenky, 2011). Por el otro, tomar en cuenta el ITF de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) no sería representativo, ya que un importante porcentaje de los usuarios del Subterráneo reside en el Gran Buenos Aires (GBA), tal como se vislumbra en la Tabla 8. Esto tendría como consecuencia una sobreestimación de  $k$ , ya que el ITF de Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) es mayor al resto del país (como se verifica en las siguientes páginas).

En consecuencia, se seleccionó el ITF nacional a fin de estimar  $k$ . Dado que el INDEC publica la media pero no la mediana del ITF, se ha calculado a partir de la Base de Datos de la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) puesta a disposición por el mismo organismo (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017a). Para ello, se aplicó la siguiente metodología:

- Se seleccionó la Base de Microdatos del EPH para Hogares correspondiente al primer trimestre del 2017, dado que los últimos datos disponibles respecto a las interrupciones en subterráneos corresponden a este período.
- Se excluye a los hogares sin ingresos (ITF=0), los cuales distorsionarían el cálculo de la

Tabla 8

Perfil de Usuario de Línea según su lugar de residencia (Marzo 2017)

	CABA	GBA
Línea A	76 %	24 %
Línea B	63 %	37 %
Línea C	39 %	61 %
Línea D	78 %	22 %
Línea E	79 %	21 %
Línea H	71 %	29 %

*Nota Fuente: Isonomía (2017). Encuesta Coincidental Subte - Marzo 2017. Isonomía Consultores. Buenos Aires.*

mediana para los fines propuestos.

- Tomando en cuenta la ponderación de cada encuesta (de acuerdo a la representatividad de las respuestas) y el ITF declarado (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017b), se obtuvo la mediana correspondiente al nivel nacional.

Por lo tanto, la mediana del ingreso mensual de los hogares a nivel nacional para el primer trimestre del 2017 es 16.950 pesos argentinos. Si un asalariado promedio trabaja 2.080 horas por año (52 semanas por 40 horas semanales), trimestralmente son 520 horas. De esta forma, se concluye que la mediana del ingreso mensual de los hogares por hora es 97,8 pesos argentinos (para el primer trimestre del 2017). En esta proyección, cabe destacar que la mediana del ingreso para los trimestres 1 y 3 incluye la percepción del aguinaldo (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017c).

De acuerdo a la Tabla 7, se debe tomar en cuenta el 100 % de este valor para analizar las demoras. Entonces, si se considera el cálculo de  $k$  según el enfoque de Taguchi donde  $A_0$  es la pérdida del consumidor cuando la característica de calidad es  $y_0$  (horas de interrupciones):

$$A_0 = \$97,8$$

$$y_0 = 1$$

Entonces,

$$k = \frac{\$97,8}{1^2} \tag{10}$$

Por lo tanto, una hora de desvío del target  $m$  implica que el consumidor e, indirectamente, la sociedad, deberán incurrir en un gasto equivalente a  $k = \$97,8$ .

---

## Definición del Error Cuadrático Medio o *MSD*

El Error Cuadrático Medio (MSD) representa el desvío respecto al target para un conjunto de productos o servicios. En el caso del Modelo “Menor Mejor”, su Función de Pérdida de Calidad está representada por la Ecuación 7, siendo:

- $\sigma^2$ : la variabilidad de  $y$  respecto al promedio  $\bar{y}$
- $\bar{y}^2$ : el cuadrado del desvío del promedio respecto a cero.

Dado que  $k$  es una constante de monetización, la disminución de los Costos de No Calidad sobre los Clientes o de la pérdida  $L$  depende de la reducción del MSD. Esto puede lograrse a través de: (a) la reducción de la variabilidad  $\sigma^2$  respecto al promedio  $y$ /o (b) el ajuste del promedio  $\bar{y}$  al target (Taguchi y col., 2005).

Cuando las variaciones de un producto o servicio son consistentes entre sí y muestran una varianza pequeña,  $L$  puede reducirse fácilmente a través del ajuste de  $\bar{y}$  al target  $m$ . En estos casos, se habla de un producto o servicio robusto, ya que la consistencia existente entre los valores  $y$  alcanzados genera variaciones predecibles y más fáciles de corregir (Taguchi & Clausing, 1990).

En cambio, si se verifica un  $\sigma^2$  significativo, los valores  $y$  que puede adoptar la característica de calidad son impredecibles y sus causas de variación serán múltiples (Taguchi & Clausing, 1990), por lo que la disminución de  $L$  reviste mayor complejidad.

En consecuencia, Taguchi y Clausing afirman que es preferible contar con un producto o servicio robusto pero fuera de los límites especificados que con uno dentro de los límites pero con gran variabilidad. Por ello, se oponen al criterio “cero defectos” y promueven un enfoque centrado en la robustez y el ajuste a un target.

**Escenarios a medir.** La medición del MSD de las interrupciones registradas en los subterráneos de Buenos Aires debe considerar tres escenarios constituidos por las siguientes causas de demoras:

1. Interrupciones regulares
  - a) Fallas técnicas en instalaciones.
  - b) Fallas técnicas en coches.
  - c) Fallas operativas.
  - d) Otros: Accidentes, problemas de salud de pasajeros y delitos.
2. Interrupciones por conflictos gremiales.
3. Interrupciones por fuerza mayor: corte de suministro eléctrico por Edesur o Edenor, eventos y manifestaciones ajenas a los subterráneos, etc.

La necesidad de agrupar y medir las interrupciones en tres grupos distintos responde a dos

razones. Por un lado, los tres grupos demuestran el grado de responsabilidad de Metrovías (prestadora del servicio) y/o de SBASE (controla y está encargado del mantenimiento y desarrollo de la red) en la generación de interrupciones, siendo aquellas:

1. Interrupciones regulares: completamente responsables.
2. Interrupciones por conflictos gremiales: parcialmente responsables.
3. Interrupciones por fuerza mayor: poco responsables.

Los accidentes incluidos en interrupciones regulares pueden o no ser completa responsabilidad del prestador y/o regulador; por ejemplo, el arrollamiento de una persona puede producirse, por ejemplo, por impericia del conductor o por el suicidio de la víctima (siendo en este caso una interrupción por fuerza mayor). Sin embargo, dado que (a) no existe información disponible sobre la causa de gran parte de los accidentes y (b) Metrovías enuncia a la seguridad y al cuidado de las personas como su compromiso (Metrovías, 2018), se lo considera completamente responsable, excepto en los casos donde se declare específicamente que el evento tuvo características de caso fortuito (como en el caso de un suicidio). Lo mismo sucede con las interrupciones provocadas por la salud de los pasajeros; por ejemplo, cuando un pasajero se descompone en la formación o estación.

En cuanto a los conflictos gremiales, estos se generan por un conflicto entre dos partes interesadas: las asociaciones sindicales de trabajadores y sus empleadores. En consecuencia, Metrovías es parcialmente responsable por ser una de las dos partes involucradas en el conflicto, ya que las interrupciones por este motivo no solo dependen de sus acciones, sino también de las decisiones de los gremios.

Finalmente, las interrupciones por fuerza mayor se deben a acontecimientos sobre los cuales el prestador del servicio tiene escaso o nulo control. Halevy y Naveh (2000), en su mencionado estudio sobre la medición de los costos de no calidad en Israel, deciden analizar por separado el efecto de los eventos especiales (como cortes de luz a gran escala, epidemias de gripe, etc), reconociendo su importancia como generador de CNCC y la necesidad de medirlos como una categoría adicional.

El artículo 1.730 del Código Civil y Comercial de la República Argentina (2014) establece: “se considera caso fortuito o fuerza mayor al hecho que no ha podido ser previsto o que, habiendo sido provisto, no ha podido ser evitado. El caso fortuito o fuerza mayor exime de responsabilidad, excepto disposición en contrario” (p.56). Por ejemplo, un intento de suicidio por parte de un pasajero se considera un caso fortuito, ya que el prestador del servicio no puede prever tal acontecimiento.

A continuación se ejemplifican algunos antecedentes de eventos de fuerza mayor que gene-

---

raron demoras en el servicio de subterráneos entre 2012 y 2017 (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2017b)

- 2012 - Línea PM: Vía bloqueada por camión en Av. Perito Moreno (29 minutos de interrupciones).
- 2013 - Línea B: Disturbios ocasionados por hinchada de fútbol (25 minutos de interrupciones).
- 2014 - Línea H: Falta de corriente de Alta por Edesur (34 minutos de interrupciones).
- 2015 - Línea PM: Bloqueo de vías por manifestantes en M. Acosta y Av. Cruz (94 minutos de interrupciones).
- 2016 - Línea D: Sumatoria de interrupciones por manifestantes en marcha contra la violencia de género (17 minutos de interrupciones).
- 2017 - Línea PM: Factores climatológicos (10 minutos de interrupciones).

Por otro lado, la segunda razón para medir las interrupciones en tres grupos responde a la gran variabilidad existente entre los  $\sigma^2$  de cada uno de ellos. Por ejemplo, las interrupciones por conflictos gremiales pueden fácilmente exceder las 24 o 48 horas, mientras que una simple falla técnica no supera los 5 minutos. Por ello, si se aplica la Función de Pérdida de Calidad (y el consecuente cálculo del MSD) sobre todas las interrupciones, sin distinguir su causa, el resultado sería poco representativo. En cambio, una medición por clase de interrupciones permite realizar un análisis con mayor grado de precisión (especialmente en el caso del MSD) e identificar qué nivel de robustez tiene el servicio ante cada grupo de interrupciones.

En conclusión, independientemente del grado de responsabilidad de la compañía prestadora del servicio y de la variabilidad del mismo, cada minuto de demora genera una pérdida monetaria en los usuarios. Por lo tanto, a continuación se medirán los CNCC sobre los tres escenarios.

**Conformación de escenarios.** Mientras que la información provista por SBASE presenta cuatro grandes causas de interrupciones (Coche, Instalaciones, Operativa y Varios), las mismas se han reagrupado para conformar los tres escenarios descriptos en el punto anterior. Con este objetivo, las interrupciones de la categoría Varios se asignaron a alguno de los siguientes grupos:

- Seguridad - Delitos
- Seguridad - Accidentes
- Salud Pasajeros
- Fuerza Mayor
- Conflictos Gremiales

Luego, a cada una de las interrupciones, incluyendo las pertenecientes a las tres categorías restantes (Coche, Instalaciones y Operativa), se les asignó el tipo correspondiente a la naturaleza de la interrupción. De esta manera, se cuentan con ocho categorías para cada una de las interrupciones,

desglosadas en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9

*Tipos de Interrupciones Regulares (Escenario 1)*

Categoría	Tipo
Seguridad - Delito	Falta de custodia policial
	Vandalismo sobre coche o estaciones
	Incidentes provocados por pasajeros
	Presencia de Arrebatadores
	Procedimiento policial
	Persona caminando en vías sin autorización
Seguridad - Accidente	Animal suelto
	Persona accidentada en coche o estación
	Arrollamiento de persona
	Siniestro con vehículo particular
	Descarrilamiento
Salud Pasajeros	Pasajero descompuesto
	Persona fallecida
	Presencia de gas pesticida
Operativo	Error humano u operativo
	Adecuación horaria
	Ausencia de personal
	Reducción del servicio
	Problema operativo
	Falla u ocupación de Circuito de Vías (CDV)
Instalaciones	Factores climáticos
	Incendio
	Obras y trabajos de renovación
	Presencia de humo en estación
	Falla de cambio o señales
	Falla u ocupación de CDV o cambios
	Falta de energía en estación
Desperfecto en estaciones	
Coche	Exceso de viruta
	Formación sin maniobra
	Falta de coche
	Coche descompuesto
	Incendio

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Cabe realizar las siguientes aclaraciones:

1. Si la descripción de la interrupción provista por SBASE otorga dos causas, se tomará la causa raíz. Por ejemplo, “vandalismo sobre equipamiento provoca avería en galibo de



Tabla 10

*Tipos de Interrupciones por Conflictos Gremiales (Escenario 2) y por Fuerza Mayor (Escenario 3)*

Categoría	Tipo
Conflictos gremiales	Paro general o manifestaciones gremiales
Fuerza Mayor	Factores climáticos Evento o manifestación Negligencia externa Orden Judicial Falta de energía (Edesur o Edenor) Procedimiento policial o de bomberos

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Equipo C, detenido en Est. San Juan”, registrado el 06/01/2016 en la línea C, representa una falla técnica provocada por vandalismo. Por ello, se lo clasifica en esta última categoría y no en Coche Descompuesto.

2. Los Factores Climáticos representan una causa de fuerza mayor cuando sean excepcionales e imprevistos, tal como la intensa niebla que afectó el servicio del Premetro durante tres días (27/05/2014, 29/06/2014 y 11/05/2015). No obstante, las sucesivas interrupciones provocadas por intensas precipitaciones entre Enero 2012 y Marzo 2017 (24 episodios en líneas de Subte y 23 en Premetro) demuestran fallas en las instalaciones.
3. Existen causas de interrupciones registradas exclusivamente o en su gran mayoría en el Premetro (PM):
  - Falta de custodia policial.
  - Siniestro con vehículo particular
  - Orden judicial por peritaje de formación.
  - Vía bloqueada: por eventos, manifestaciones, negligencia externa, etc.

### **Medición de Escenarios**

La medición de escenarios consistirá en la obtención del MSD para cada escenario por año entre 2012 y 2017, y luego en la multiplicación del MSD por el  $k$  definido previamente. Por lo tanto, a partir de la Ecuación 10, se ha establecido que la Ecuación 11 será la función de pérdida para las interrupciones.

$$L = 97,8(\sigma^2 + \bar{y}^2) \quad (11)$$

En este sentido, corresponde realizar dos aclaraciones. Primero, sin importar el año para el

cual se quiera calcular  $L$ ,  $k$  se mantendrá constante para hacer hincapié en las variaciones en la calidad del servicio y no en el cambio de poder adquisitivo de la población estudiada. Se recuerda que el  $k$  de la Ecuación 10 considera el ingreso mensual de los hogares en el primer trimestre del 2017 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017a).

En aras de la simplicidad, el cálculo del MSD y los consecuentes CNCC se realizará por escenario y por año, obviando la segmentación por línea. Esto también permitirá hacer hincapié en la evolución anual de las demoras y las diferencias existentes entre cada escenario. No obstante, y para aquellos interesados en tal segmentación, el CNCC por línea, año y escenario podrá encontrarse detallado en la Tabla B3 del Apéndice.

**$L$  bajo Escenario 1.** Como se ha descrito precedentemente, el Escenario 1 está compuesto por las interrupciones regulares, las cuales pertenecen a las siguientes categorías:

- Fallas técnicas en instalaciones.
- Fallas técnicas en coches.
- Fallas operativas.
- Salud de los pasajeros.
- Seguridad - delitos.
- Seguridad - accidentes.

La información provista por SBASE consiste en un registro de cada interrupción en un día determinado, así como los minutos de interrupciones asociados a dicho evento, clasificado por línea y causa. Cuando en un día no se producen interrupciones, no existen registros. Sin embargo, y con el objetivo de calcular la varianza y el promedio de las horas de interrupciones producidas por estas causas, debe existir una observación por día de operación. De otra forma, la varianza y el promedio serían sobreestimados, con la consecuente sobreestimación del MSD y la pérdida sobre la sociedad.

En consecuencia, si un día no se reportan interrupciones, se agregó una observación con  $y = 0$ , es decir, que refleje que las interrupciones totales en ese día fueron de cero horas. Una vez sorteado este obstáculo, los minutos de interrupciones fueron convertidos en horas y se procedió a calcular la varianza poblacional  $\sigma^2$ , promedio  $\bar{y}$  y MSD por año, cuyos resultados se reflejan en la Tabla 11. De esta manera, se logra obtener el Error Cuadrático Medio (MSD), de acuerdo a lo expresado en la Ecuación 7.

Asimismo, la obtención de la pérdida  $L$  o CNCC exige que el MSD sea multiplicado por  $k$ , tal como se expresó en la Función de Pérdida de Calidad definida en la Ecuación 11. Por lo tanto, el MSD obtenido en la Tabla 11 se convierte en el  $L_1$  expresado en la Tabla 12.

Si  $k$  significa la pérdida monetaria que una hora de demora genera en un usuario, entonces  $L$  representa el costo generado por una interrupción sobre cada usuario que la haya experimentado,

Tabla 11

Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 1

Año	$\sigma^2$	$\bar{y}$	$\bar{y}^2$	MSD
2012	0,530	0,485	0,235	0,765
2013	0,693	0,517	0,267	0,960
2014	3,619	0,889	0,791	4,410
2015	2,596	0,840	0,706	3,302
2016	1,041	0,664	0,441	1,481
2017	1,320	0,712	0,507	1,827

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla 12

Pérdida  $L$  por interrupción bajo Escenario 1 ( $L_1$ )

Año	MSD	$k$	$L_1$
2012	0,765	\$ 97,8	\$ 74,82
2013	0,960	\$ 97,8	\$ 93,89
2014	4,410	\$ 97,8	\$ 431,30
2015	3,302	\$ 97,8	\$ 322,91
2016	1,481	\$ 97,8	\$ 144,88
2017	1,827	\$ 97,8	\$ 178,72

*Nota Fuente: Elaboración propia*

y asimismo, sobre la sociedad en su conjunto.

Al observar el MSD para cada año, se comprende que la variabilidad de  $L_1$  responde a la fluctuación en la cantidad de horas de interrupciones generadas por cada evento, ya que  $k$  se mantiene constante. En otras palabras, a medida que aumenta  $\sigma^2$ , el MSD será mayor y también lo será la pérdida. En la Tabla 11, se observa que el año 2014 tuvo el peor desempeño del período estudiado, ya que no solo tuvo el  $\bar{y}$  más alejado del target  $m = 0$ , sino que además demuestra la mayor variación  $\sigma^2$ , y por lo tanto, se convierte en el año con peor robustez en el servicio.

**$L$  bajo Escenario 2.** El Escenario 2 incluye las interrupciones producidas por conflictos gremiales, tales como paros generales de toda una jornada o manifestaciones temporales de delegados gremiales del subterráneo. Estas interrupciones poseen dos características fundamentales:

- SBASE y/o Metrovías tienen responsabilidad parcial sobre las interrupciones por estas causas.

- La duración de las interrupciones, y consecuentemente su  $\bar{y}$ , es mayor a la existente para el Escenario 1 (ver Tabla 13).

Se respetó la misma metodología que se utilizó para el Escenario 1. Es decir, primero se

calculó el MSD por año para las interrupciones por conflictos gremiales y luego se monetizó a través del mismo valor de  $k$ .

Tabla 13

*Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 2*

Año	$\sigma^2$	$\bar{y}$	$\bar{y}^2$	MSD
2012	27,092	2,778	7,715	34,806
2013	15,726	1,190	1,416	17,142
2014	9,245	0,928	0,861	10,106
2015	11,709	0,803	0,645	12,354
2016	7,951	0,702	0,493	8,445
2017	16,349	1,357	1,841	18,190

*Nota Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 13, se verifica que no solo el  $\bar{y}$  de las interrupciones por conflictos gremiales es ligeramente mayor al de las interrupciones regulares, sino también su varianza. De hecho, es en la columna  $\sigma^2$  donde se verifica la mayor diferencia entre ambos escenarios.

La significativa variación entre las interrupciones del Escenario 2 impacta negativamente en el  $L_2$ , ya que la pérdida para el usuario y la sociedad es mayor cuánto más amplia sea la varianza. Es decir, el servicio es poco robusto, ya que la importante variabilidad produce incertidumbre en los usuarios, con el consecuente aumento de la pérdida por calidad (Taguchi & Clausing, 1990).

Observando la Tabla 14, en 2012 se registra el mayor nivel de Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por interrupción, ascendiendo a \$ 3.404,06 y a 2,77 horas de interrupción promedio. Los valores relevados hasta Abril 2017 indican la peor pérdida  $L_2$  desde el 2012, con una pérdida para el usuario y la sociedad de \$ 1.778,96.

En otras palabras, los usuarios que experimentaron una interrupción por conflictos gremiales debieron incurrir cada uno en dicho gasto aproximado, por cualquiera de las siguientes causas que se describieron en el Capítulo VI:

1. Pérdida de tiempo libre
  - a) Mayor tiempo de viaje en el regreso desde el trabajo.
  - b) Mayor tiempo de previsión de salida calculado (para compensar posibles demoras).
  - c) Compensación de horas de trabajo perdidas.
2. Pérdida de productividad
3. Problemas potenciales de salud por estrés y disminución en calidad de vida

En menor medida, se afirma que las causas 2 y 3 también impactan en el tiempo libre de los usuarios. Por ejemplo, la pérdida de productividad puede llevar a la necesidad de invertir mayor

cantidad de tiempo en actividades laborales, mientras que los problemas de salud pueden derivar en consultas y gastos médicos.

Cabe destacar que la metodología adoptada para el cálculo de  $L$  no incluye los posibles gastos en que deben incurrir los usuarios por el acceso a servicios de transporte sustitutos ante una interrupción, como los colectivos, taxis, vehículos particulares, etc.

Tabla 14  
Pérdida  $L$  por interrupción bajo Escenario 2 ( $L_2$ )

Año	MSD	$k$	$L_2$
2012	34,806	\$ 97,8	\$ 3.404,06
2013	17,142	\$ 97,8	\$ 1.676,50
2014	10,106	\$ 97,8	\$ 988,38
2015	12,354	\$ 97,8	\$ 1.208,20
2016	8,445	\$ 97,8	\$ 825,88
2017	18,190	\$ 97,8	\$ 1.778,96

Nota Fuente: Elaboración propia.

**$L$  bajo Escenario 3.** Finalmente, el Escenario 3 está compuesto por todas aquellas interrupciones provocadas por causas de fuerza mayor (ver Tabla 10). Tal como se mencionó precedentemente, SBASE y/o Metrovías no son responsables por las pérdidas ocasionadas por estas interrupciones, ya que no pueden preverse. Sin embargo,  $L_3$  es medido de todas formas, dado que independientemente del grado de responsabilidad del prestador o administrador del servicio, el usuario deberá incurrir en un gasto para compensar las interrupciones experimentadas. En definitiva, el servicio será poco robusto si incurre en pérdidas a sus usuarios, sin importar si el productor es responsable.

Al igual que en el resto de los escenarios, un mayor MSD, *ceteris paribus*, significa mayores pérdidas para el usuario y la sociedad. Si se analiza la Tabla 15, el año 2016 presenta un mayor MSD que el 2014, a pesar de tener un promedio de horas de interrupciones menor que este último. La diferencia, claro está, reside en su mayor  $\sigma^2$ .

La amplia varianza identificada, especialmente en los años 2014, 2015 y 2016, nuevamente demuestra la existencia de un servicio de poca robustez y cuya corrección para acercarse al target  $m$  será más difícil, ya que la fuente principal que contribuye al MSD es  $\sigma^2$  y no  $\bar{y}$  (Taguchi & Clausing, 1990). Por lo tanto, la variación está producida por múltiples y complejos factores, los cuales representan la variedad inherente a las interrupciones por fuerza mayor, tales como la negligencia externa, manifestaciones o un procedimiento policial.

La Tabla 16, por otro lado, muestra que la mayor pérdida  $L_3$  por interrupción en el período corresponde al 2015, donde  $L_3 = \$823,32$ . Mientras tanto, 2012 representa el año con mejor

Tabla 15

*Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por año bajo el Escenario 3*

Año	$\sigma^2$	$\bar{y}$	$\bar{y}^2$	MSD
2012	0,706	0,270	0,073	0,779
2013	2,178	0,350	0,122	2,300
2014	4,003	0,694	0,482	4,485
2015	7,707	0,843	0,711	8,418
2016	5,918	0,596	0,355	6,273
2017	1,166	0,233	0,054	1,220

*Nota Fuente: Elaboración propia*

rendimiento, ya que las pérdidas ascendieron a solo \$ 76,17 por interrupción.

Tabla 16

*Pérdida L por interrupción bajo Escenario 3 ( $L_3$ )*

Año	MSD	$k$	$L_3$
2012	0,779	\$ 97,8	\$ 76,17
2013	2,300	\$ 97,8	\$ 224,92
2014	4,485	\$ 97,8	\$ 438,68
2015	8,418	\$ 97,8	\$ 823,32
2016	6,273	\$ 97,8	\$ 613,53
2017	1,220	\$ 97,8	\$ 119,28

*Nota Fuente: Elaboración propia*

### Análisis de resultados

**Resultados por Escenario.** La pérdida monetaria que las interrupciones provocan en los usuarios del subterráneo dependerá de la causa en la que estén enmarcada las mismas, dado que la robustez del servicio es diferente para los tres escenarios. En la Figura 20, se visualiza que los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por conflictos gremiales son consistentemente mayores a las pérdidas generadas por los otros dos escenarios en todo el período estudiado (2012- primer trimestre 2017). Es decir, si la interrupción fue causada por un conflicto gremial, el costo para el usuario será mayor, dado que:

- El tiempo promedio de la interrupción es mayor.
- La varianza de la interrupción es mayor, por lo que existe gran incertidumbre sobre su duración.

Son especialmente notables las pérdidas originadas por conflictos gremiales en 2012. Se deben, en gran parte, al paro de mayor duración en la historia de los subterráneos de Buenos Aires,

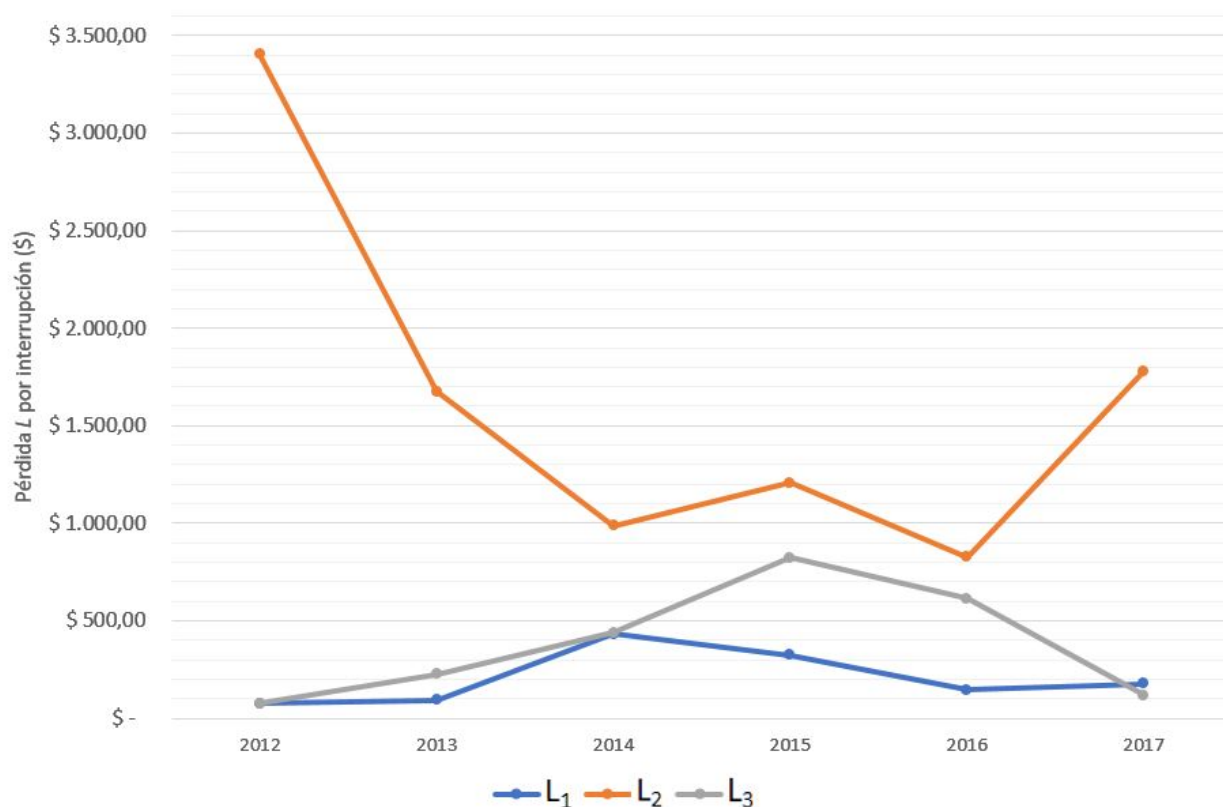


Figura 20.

Pérdida  $L$  por interrupción, segmentado por año y por Escenario (2012-2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia.

durante el cual una medida de fuerza gremial interrumpió el servicio por 10 días corridos (Rivas, 2012).

Por otro lado, los CNCC del Escenario 1 presentan la menor pérdida  $L$  respecto a otros escenarios entre 2012 y 2016 (Figura 20). Asimismo, se observa que luego de alcanzar su pico en 2014,  $L$  disminuye sostenidamente hasta 2017. Sin embargo, la generación de las interrupciones del Escenario 1 constituye la responsabilidad directa de SBASE y/o Metrovías, por lo que se elaboró la Figura 21 para determinar qué subcausas tienen mayor impacto.

Para ello, se tomaron en cuenta dos precauciones. Por un lado, se excluyeron las interrupciones provocadas por el Premetro, ya que existe una sobrerrepresentación de las causas “Seguridad - Delito” “Seguridad - Accidente” por la existencia de dos subcausas exclusivas de esta línea: Falta de custodia policial y Siniestro con vehículo particular (ver Subsección “Conformación de Escenarios”). Por el otro, se consideraron los resultados hasta el 2016, dado que solo se disponen de datos hasta el primer trimestre del 2017. Por lo tanto, no pueden ser comparadas las horas totales de interrupciones en un año del período 2012-2016 con aquellas de pertenecientes a solo tres meses del 2017.

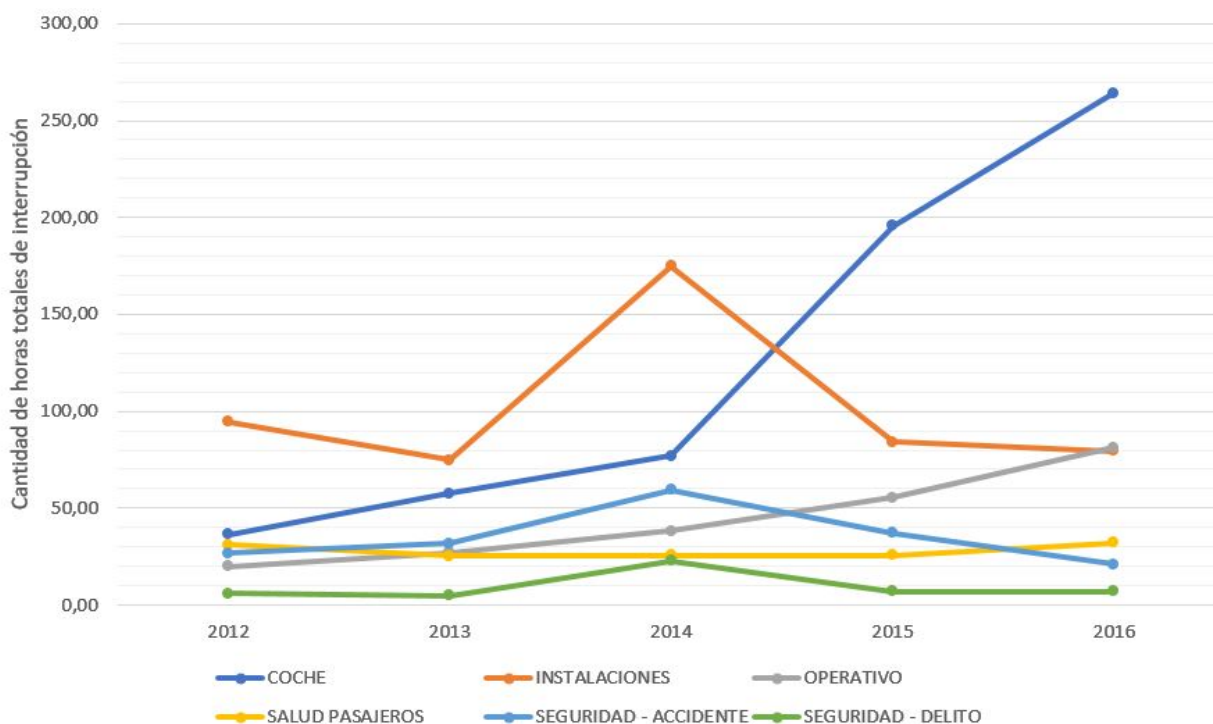


Figura 21.

Cantidad total de horas de interrupciones por año para el Escenario 1, excluyendo PM (2012-2016).  
**Nota** Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Figura 21 demuestran que las interrupciones por Fallas Técnicas en Instalaciones y en Coches exceden ampliamente al resto de las causas, las cuales no superan las 50 horas en cuatro de los cinco años estudiados. En cambio, las interrupciones por Coche crecieron de manera ininterrumpida entre 2012 y 2016, con especial importancia en los últimos dos años. Por su parte, aquellas provocadas por fallas en Instalaciones alcanzaron su pico en 2014 para luego descender abruptamente e igualar en 2016 a la cantidad de horas de interrupciones por problemas operativos.

El destacable incremento de las horas de interrupciones por Coche entre 2014 y 2016 se explica, en parte, por la mayor participación de las subcausas Falta de Coche y Coche Descompuesto. El primero tuvo un aumento en la cantidad de horas de interrupciones de más de 400 % entre 2014 y 2015, mientras que el segundo se incrementó en un 120 % en el mismo período. Como resultado, en 2016 ambas subcausas explicaron el 79 % de las horas totales de interrupciones por problemas en Coches (Tabla 17).

En cambio, las interrupciones por problemas en Instalaciones poseen mayor diversidad de subcausas, pero la Tabla 18 demuestra una tendencia existente hacia la consolidación de tres razones principales: los desperfectos en estaciones, los factores climáticos (con especial énfasis en el anegamiento por fuertes precipitaciones) y las obras que interfieren con el normal desarrollo del servicio. Estas últimas incluyen interrupciones previstas o inesperadas, así como obras desarrolla-



Tabla 17

*Porcentaje de Interrupciones por Fallas en Coche (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016
Coche descompuesto	47 %	38 %	41 %	36 %	36 %
Exceso de viruta	0 %	2 %	2 %	0 %	0 %
Falta de coche	1 %	19 %	21 %	45 %	43 %
Formación sin maniobra	47 %	40 %	35 %	19 %	20 %
Incendio	4 %	1 %	1 %	0 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla 18

*Porcentaje de Interrupciones por fallas en Instalaciones (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016
Desperfecto en estaciones	1 %	13 %	6 %	15 %	37 %
Factores climáticos	69 %	16 %	4 %	3 %	6 %
Falla de cambio o señales	14 %	13 %	8 %	13 %	11 %
Falla u ocupación de CDV o cambios	4 %	27 %	5 %	13 %	7 %
Falta de energía en la estación	10 %	1 %	0 %	1 %	3 %
Incendio	1 %	19 %	2 %	2 %	4 %
Obras y trabajos de renovación	0 %	10 %	75 %	52 %	32 %
Presencia de humo en estación	2 %	0 %	1 %	1 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia*

das por SBASE o por proveedores autorizados. En este sentido, las 129 horas de obra de extensión en la línea D desarrolladas en 2014 explican el notable incremento en las interrupciones por la causa Instalaciones.

**Resultados por Línea.** Entonces, si cada interrupción genera un costo de acuerdo a su causa, ¿qué línea resulta más afectada? Dado que  $L$  representa las pérdidas para un usuario ante una interrupción, se analizarán la cantidad total de dichos eventos según la línea, escenario y año.

En la Tabla 19 se observa que las interrupciones regulares son el tipo más frecuente, totalizando 3.502 eventos entre 2012 y 2016. Esto representa 650 % más que la cantidad total de interrupciones por conflictos gremiales (Tabla 20) u 860 % más que los eventos por fuerza mayor (Tabla 21). No obstante, los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) de las interrupciones regulares son significativamente menores respecto a los otros dos escenarios (ver Figura 20), por lo que las pérdidas totales por usuario en un año (es decir, considerando todas las interrupciones que un usuario experimenta anualmente) se verían mitigadas.

Tabla 19

*Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 1 (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016	Total
A	67	43	71	63	53	274
B	82	76	79	64	65	367
C	25	17	47	27	35	171
D	56	57	83	70	133	632
E	62	47	114	107	221	709
H		58	71	56	89	327
PM	85	81	371	263	243	1022
Total	377	379	836	650	839	3502

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Respecto a la participación de las líneas, el Premetro (PM) lidera año a año en cantidad total de interrupciones para el Escenario 1 (Tabla 19) y Escenario 3 (Tabla 21), ocasionando de esta manera grandes CNCC para sus usuarios. Se recuerda que cada interrupción experimentada por el cliente equivale, en este caso, a  $L_1$  y  $L_3$ .

Por otro lado, se destaca el sostenido incremento en la cantidad de interrupciones del Escenario 1 en las líneas E y D, las cuales poseen la segunda y tercer mayor cantidad de interrupciones luego del PM, según la Tabla 19. El deterioro de la línea E es tal que en 2016 casi igualó al Premetro (PM) en cantidad de interrupciones.

Tabla 20

*Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 2 (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016	Total
A	36	8	5	2	4	55
B	38	24	8	5	6	81
C	40	1	16	10	8	75
D	38	2	8	7	7	62
E	38	1	6	6	12	63
H		34	14	4	4	56
PM	40	4	20	4	8	76
Total	230	74	77	38	49	468

*Nota Fuente: Elaboración propia.*

En cambio, la cantidad de interrupciones por conflictos gremiales demuestra grandes fluctuaciones en el período estudiado (Tabla 20). Como se comentó previamente, 2012 fue el año más conflictivo e incluyó paros simultáneos en todas las líneas, por lo que la cantidad de interrupciones es homogénea. No obstante, entre 2013 y 2016 se registraron diferencias entre las líneas,

evidenciando dos tendencias opuestas:

- Las líneas B y H mejoraron continuamente respecto a la cantidad anual de interrupciones.
- La línea E incrementó sus interrupciones año a año, finalizando el 2016 con la mayor cantidad respecto a otras líneas.

Tabla 21

*Cantidad Total de Eventos de Interrupciones en el Escenario 3 (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016	Total
A	6	3	3	5	3	20
B	4	1	7	7	5	24
C	1	2	4	2	3	12
D	6	3	5	3	6	23
E	2	-	1	-	-	3
H	-	2	1	3	-	6
PM	57	38	88	49	42	274
Total	76	49	109	69	59	362

*Nota Fuente: Elaboración propia.*

Respecto a los resultados del Escenario 3, se ha comentado previamente que el Premetro lidera ampliamente en cantidad anual de interrupciones por fuerza mayor. Esto se explica por la existencia de tres causas de interrupciones que se manifiestan casi exclusivamente en esta línea:

- Vía bloqueada por manifestantes o evento: representan el 50 % de las interrupciones del servicio del Premetro por fuerza mayor.
- Vía bloqueada por automóvil, camión o accidente de tránsito entre particulares: el 24 % de las interrupciones PM por fuerza mayor.
- Procedimiento policial por desalojo de predio ocupado ilegalmente: el 16 % de las interrupciones en PM por fuerza mayor.

Dada la variación de  $L$  según el escenario al que pertenece cada interrupción, la adecuada medición de la incidencia de los CNCC en cada línea debe considerar la cantidad de interrupciones pero también la pérdida que cada una origina en el cliente. Para ello, se elaboró la Figura 22, a través del cálculo de la pérdida máxima que podrían generar las interrupciones a los usuarios de una línea, suponiendo que un usuario experimenta cada una de las interrupciones registradas. Los resultados expuestos en la Figura 22 se obtuvieron a través de la siguiente metodología (ver Tabla B3 en Apéndice):

1. Sumatoria de la cantidad total de interrupciones por línea y año, segmentado en escenarios (Tablas 19, 20 y 21).

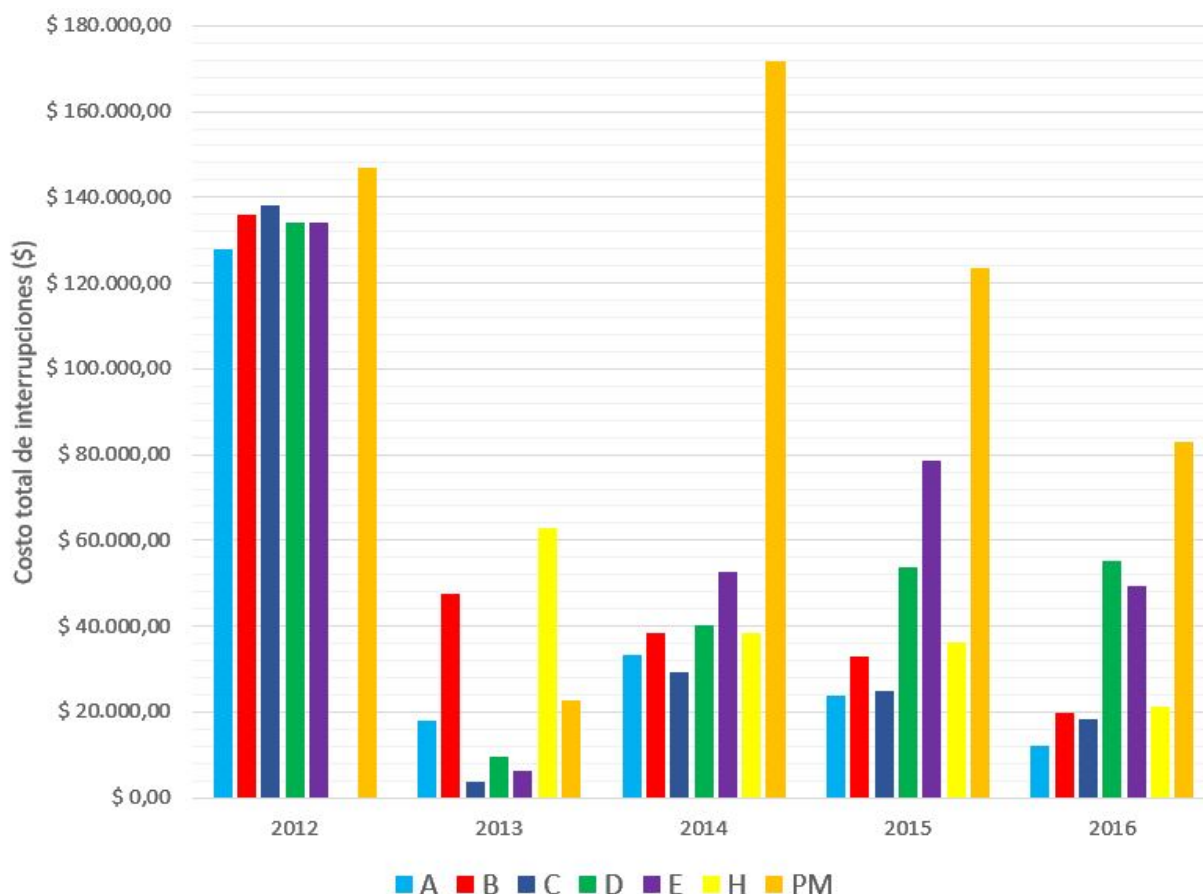


Figura 22.

Sumatoria del costo de interrupciones para los tres escenarios, segmentado por año y por línea (2012-2016). **Nota** Fuente: Elaboración propia.

2. Multiplicación de la cantidad total de interrupciones del punto anterior por el *L* correspondiente para su año y escenario.
3. Sumatoria del Costo Total de las interrupciones de los tres escenarios, segmentados por año y por línea.

El objetivo de la Figura 22 no es calcular el costo real para un cliente, ya que es poco probable que un usuario experimente cada una de las interrupciones producidas durante año. En cambio, permite realizar la sumatoria de los CNCC de los tres escenarios, con el fin de comparar el rendimiento de las líneas en cada año.

El análisis de la Figura 22 permite arribar a las siguientes afirmaciones:

1. La homogeneidad de los CNCC en 2012: se debe a la relevancia de los conflictos gremiales, ya que cada línea experimentó una similar cantidad de interrupciones por esta causa en dicho año.
2. La progresiva mejora de las líneas A, B, C, H y PM, especialmente entre 2014 y 2016.

- 
3. El deterioro de las líneas D y E, quienes aumentaron continuamente los CNCC entre 2013 y 2016.

## Conclusiones

Para determinar los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por interrupciones en el servicio, se empleó la Función de Pérdida de Calidad (QLF) desarrollada por Genichi Taguchi. Para ello, se seleccionó el Modelo Menor Mejor (STB), dado que el target de horas de interrupciones en el servicio debe ser cero ( $m = 0$ ). Asimismo, la aplicación de la QLF exigió la definición de  $k$  (factor monetizador de los desvíos del target) y del Error Cuadrático Medio (MSD), el cual representa la robustez del servicio.

Respecto a  $k$ , este representa la pérdida monetaria para la sociedad generada por una unidad de desvío del target. Es decir, cuando existe un desvío en la característica de calidad, el usuario debe incurrir en el costo de una contramedida. Para los subterráneos, se estableció que dicha contramedida equivale al Valor del Tiempo Libre que los usuarios resignan ante una interrupción, el cual también es estudiado como el Valor de los Ahorros en Tiempo de Viaje (VATV). Se determinó que el VATV equivale a la mediana del ingreso de los hogares por hora a nivel nacional en Argentina para el primer trimestre del 2017. Por lo tanto,  $k$  fue definido como \$ 97,8 por hora de demora.

Por otro lado, para obtener el Error Cuadrático Medio o MSD, se tomó la decisión de segmentar el universo de interrupciones en tres escenarios: interrupciones por fallas regulares (Escenario 1), por conflictos gremiales (Escenario 2) y por fuerza mayor (Escenario 3). Esto permitió mejorar la representatividad de los resultados y adoptar un criterio conservador, ya que se redujo la varianza en la cantidad de horas de cada interrupción y consecuentemente, el  $L$  calculado. Bajo los tres escenarios, se obtuvo el  $L$  por año, el cual representa los costos de no calidad que una interrupción genera en un cliente.

En este sentido,  $L_2$  es mayor al resto de los escenarios, dada la prolongada duración de las interrupciones por conflictos gremiales y su marcada variabilidad. El servicio es menos robusto mientras más amplia sea la varianza poblacional de la duración de cada interrupción. En contraste,  $L_1$  y  $L_3$  son menores; en el primer caso, se debe a la poca variabilidad en la cantidad de horas de cada interrupción (lo cual demuestra que el servicio es más robusto), así como una duración promedio reducida. Respecto a  $L_3$ , se debe a la existencia de menor cantidad de eventos de interrupción y una baja duración promedio; no obstante, su variabilidad es más alta, dadas la diversa naturaleza de las subcausas que componen al Escenario 3.

Si se consideran los valores del año 2017, la pérdida para el cliente por interrupción fue \$ 178,72 ( $L_1$ ), \$ 1.778,96 ( $L_2$ ) y \$ 119,28 ( $L_3$ ). Es decir, cada interrupción originó un costo para

cada usuario de \$ 178,72 si fue por fallas regulares (operativas, en instalaciones, de coche, etc), \$ 1.778,96 si fue por conflictos gremiales y \$ 119,28 si fue por fuerza mayor. Si bien las interrupciones por motivos gremiales son las más costosas, registran menor frecuencia que el Escenario 1; solo el 10,6 % de las interrupciones entre 2012 y el primer trimestre del 2017 pertenecen a esta categoría, mientras que un apabullante 81,3 % corresponden al Escenario 1.

Cabe destacar que la estimación realizada no incluye interrupciones no registrables, tales como tiempos muertos en la operatoria diaria del personal o el mayor tiempo de espera que deben experimentar los usuarios al no poder abordar una formación por su grado de hacinamiento . Por lo tanto, la estimación de  $L$  presente en esta tesis adopta un criterio conservador, ya que los resultados reales en la práctica podrían ser mucho mayores.

Finalmente, el análisis de los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por línea demuestra que el Premetro, la línea D y la línea E poseen el peor desempeño. Por lo tanto, sus usuarios deben incurrir en mayores pérdidas que si viajaran en el resto de las líneas (A, B, C o H).

---

## CAPÍTULO VIII

### FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE CALIDAD (QLF) PARA HACINAMIENTO

#### Selección del Modelo

A diferencia de las interrupciones, el target  $m$  para el hacinamiento o la densidad de pasajeros no puede ser cero, ya que el servicio sin pasajeros no es económicamente viable y, además, tampoco sería coherente respecto a la función social que debe cumplir el transporte público (Haywood & Koning, 2013). Tal como se estableció en el capítulo III, Taguchi plantea que el target  $m$  debe fijarse en el mínimo de la curva  $L$ , la cual representa la sumatoria del Costo de Producción y el Costo Directo de la Calidad, siendo este último el costo de reparación y reemplazo de un bien o servicio defectuoso (Taguchi y col., 2005). La minimización de  $L$  implica, por lo tanto, no solo la perspectiva del usuario, sino también la del proveedor del servicio.

A priori, y considerando una frecuencia determinada, puede afirmarse que el costo marginal de provisión del servicio de subterráneos disminuye a medida que aumenta la cantidad de pasajeros por coche. Esto es consecuencia de la generación de economías de escala por el incremento en la cantidad de individuos que se reparten los costos fijos de provisión (Haywood & Koning, 2013). De hecho, la perspectiva tradicional afirma que, mientras no se alcance el punto de saturación del transporte público, la mayor utilización del mismo siempre genera ganancias para la sociedad (Kraus y Yoshida citados por Haywood y Koning, 2013).

Sin embargo, desde el punto de vista del usuario, el aumento del hacinamiento produce un costo incremental, incluso antes de que se alcance el punto de saturación. Este costo es conocido como desutilidad, ya que los usuarios reciben un servicio de peor calidad. En dichas condiciones, los pasajeros estarán dispuestos a pagar más para mejorar la comodidad del viaje, lo cual suele medirse considerando un *crowding multiplier* o multiplicador del Valor de los Ahorros en Tiempo de Viaje (VATV) para ese grado de hacinamiento específico (Björklund & Swärdh, 2015). Es decir, el valor regular que están dispuestos a pagar los usuarios para disminuir el tiempo de viaje aumenta a medida que se incrementa la densidad del pasajeros.

En este caso, la Figura 7 debería presentar sus curvas de manera invertida. Si  $m$  es el objetivo de densidad de pasajeros, las pérdidas de la Curva Q serían mayores que las de la Curva C en el punto  $m + \Delta$ , ya que mayor hacinamiento implica un menor costo de producción (por economías de escala) pero también menor calidad del servicio. La misma lógica se aplica para  $m - \Delta$ , dado que el costo C de producción sería mayor si se transporta a una menor cantidad de pasajeros. Por otro lado, estos experimentarían una menor o nula desutilidad.

Por lo tanto, la Función de Pérdida de Calidad (QLF) para medir el Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) responde al Modelo "Nominal Mejor", cuya ecuación se expresa de la

siguiente manera (Taguchi y col., 2005):

$$L = k[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \tag{12}$$

**Definición del target  $m$**

**Selección de la variable de medición.** Previo a la definición de  $m$ , es necesario establecer qué variable de medición se seleccionará para expresar la característica de calidad “hacinamiento”. En la academia y en la industria del transporte, se han utilizado dos indicadores (Tirachini y col., 2013):

1. *Load factor* (factor de carga): el ratio entre la cantidad de pasajeros en un vehículo y el número de asientos (Whelan y Crockett citados por Tirachini y col., 2013). En lugar del número de asientos, algunos autores consideran la capacidad nominal del coche para pasajeros parados y sentados (Tirachini y col., 2013).
2. Densidad de pasajeros por  $m^2$  ( $p/m^2$ ): ratio entre la cantidad de pasajeros parados en un vehículo y los  $m^2$  del vehículo, excluyendo el espacio para asientos, pies y rodillas de los pasajeros sentados (Transportation Research Board, 1996).

Tabla 22

*Cálculo del indicador  $p/m^2$  para un escenario de 100 pasajeros en un coche de Línea A y de Línea C*

	CNR (Línea A)	Nagoya (Línea C)
Pasajeros totales	100	100
Pasajeros sentados	36	42
Pasajeros parados	64	58
Superficie total por coche ( $m^2$ )	44,2	37,5
Superficie disponible para pasajeros parados	38,4	30,8
<b>hacinamiento (<math>p/m^2</math>)</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Si bien cualquiera de los dos indicadores no presenta diferencias en la estimación de desutilidad cuando existen grandes niveles de hacinamiento (Tirachini y col., 2013), el factor de carga es impreciso ante una marcada heterogeneidad del material rodante (Wardman y Whelan, 2011 y Haywood y Koning, 2013). Esta heterogeneidad implica diferencias en la cantidad de asientos (lo cual sería reflejado por el factor de carga), pero también diversidad de *lay outs*, tamaño de formaciones, y por lo tanto, superficie disponible para pasajeros parados.



---

Por ejemplo, la Tabla 4 muestra que la flota CNR (línea A) posee 36 asientos y  $44,2 m^2$  por coche. Por otro lado, las formaciones Nagoya (Línea C) tienen 42 asientos pero repartidos en solo  $37,5 m^2$  por coche. Para un coche con 100 pasajeros, el *load factor* para Nagoya es 2,38 mientras que para CNR es 2,8. Es decir, por cada pasajero sentado, hay 1,8 parados en CNR y 1,38 en Nagoya. Se creería, por lo tanto, que el CNCC para los parados es más bajo en la línea C, *ceteris paribus*.

No obstante, los  $m^2$  por coche nos brindan información más precisa respecto al verdadero nivel de confort experimentado por los pasajeros parados, tal como se aprecia en la Tabla 22. Si suponemos que cada asiento mide, en promedio, 40 cm por 40 cm, el CNR posee  $38,4 m^2$  disponibles para 64 pasajeros parados, mientras que Nagoya solo  $30,8 m^2$  para 58 usuarios. Por lo tanto, el primero tendría  $1,7 p/m^2$  mientras que el último mostraría una densidad ligeramente mayor ( $1,9 p/m^2$ ), generando así más Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) y contradiciendo el resultado obtenido con el factor de carga. Considerando que los subterráneos de Buenos Aires poseen una gran heterogeneidad en su material rodante (Tabla 4), se seleccionará  $p/m^2$  como indicador para definir  $m$ .

#### **Selección del valor de $m$ .**

**Perspectiva del pasajero.** La definición del valor  $m$  debe contemplar la perspectiva del pasajero y del productor, tal como se explicó en el apartado anterior. Desde el punto de vista del usuario, implica buscar el máximo valor de  $p/m^2$  que estarían dispuestos a aceptar sin experimentar pérdidas significativas en la satisfacción y, por lo tanto, en la calidad del servicio. A medida que aumenta la densidad de pasajeros, también lo hacen los costos para el cliente representados en la Curva Q de la Figura 7.

La sensibilidad del pasajero respecto al hacinamiento, y sus consecuentes *crowding multipliers*, dependen de factores socioeconómicos (Haywood, Koning, & Monchambert, 2017) y culturales (Tirachini, Hurtubia, Dekker, & Daziano, 2017), por lo que se seleccionaron dos investigaciones afines a Buenos Aires en este sentido. En la primera investigación, se estimaron los *crowding multipliers* para distintos niveles de hacinamiento en el subterráneo de Santiago de Chile (Tirachini y col., 2017), siendo valores muy similares a los obtenidos en el Metro de París y de Hong Kong, pero no así respecto a Londres o Estocolmo. Por esta razón, se decidió considerar también una segunda investigación, la cual fue desarrollada en el Metro de París (Haywood y col., 2017).

Durante la investigación en Santiago, se le pidió a los usuarios que califiquen distintos escenarios de hacinamiento con una escala de Likert de 1 al 7, donde 1 significa “muy incómodo”, 7 representa “muy cómodo” y 4 es la mínima calificación para aprobar (Tirachini y col., 2017). De esta forma, el mayor nivel de hacinamiento aprobado, con una calificación promedio de 4 puntos,

fue  $2 p/m^2$ . El siguiente nivel medido ( $4 p/m^2$ ) tuvo una nota ligeramente mayor a los 2 puntos.

En un ejercicio similar pero con una escala distinta (de 0 a 10), los usuarios del Metro de París calificaron con 6 y con 7 a una densidad promedio de  $2,7 p/m^2$  y  $2,6 p/m^2$  respectivamente. La densidad de  $3 p/m^2$  tuvo una nota de tan solo 4 puntos. Por lo tanto, se verifica que la satisfacción del usuario disminuye conforme aumenta el hacinamiento (Haywood y col., 2017). De esta forma, se estima que la densidad máxima aprobada por el pasajero de subterráneos varía entre  $2 p/m^2$  y  $2,7 p/m^2$ .

**Perspectiva del prestador del servicio.** Desde este punto de vista, la Curva C tiene una pendiente negativa, ya que el incremento en el valor de la característica de calidad (la densidad de pasajeros) disminuye el costo marginal de prestación del servicio. Sin embargo, a partir de determinado valor, el aumento de la densidad incrementará sustancialmente los costos de no calidad directos sobre el prestador, ya que deberá hacer frente a quejas, caída en la cantidad de pasajeros, entre otros. A diferencia de otros servicios de subterráneos del mundo, ni Metrovías ni SBASE publican un compromiso u objetivo de densidad promedio de pasajeros. Por ejemplo, el Metro de Madrid (2017) sí afirma en su Carta de Servicios: “Nos comprometemos a que, al menos, el 95 % de nuestros clientes que viajen en hora punta lo hagan con una ocupación igual o inferior a 4 clientes/ $m^2$ ” (p.10).

No obstante, SBASE sí describe, en su Plan de Material Rodante publicado en la página web del GCBA, cuál es la capacidad oficial de los nuevos coches incorporados al servicio (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2018):

- CNR de la Línea A: 133 pasajeros
- CAF serie 6000 de la Línea B: 193 pasajeros
- Nagoya de la Línea C: 115 pasajeros

Dado que, tal como se visualiza en la Tabla 4, los CNR tienen igual  $m^2$  que las formaciones de Alstom, Fiat FM y G.E.E, se asumió que estas tienen la misma capacidad. Idéntico razonamiento se aplicó para los tres tipos de formaciones Nagoya y para los CAF y Mitsubishi. Entonces, y únicamente con el fin de definir  $m$  desde el punto de vista del prestador del servicio, se consideró la capacidad declarada por Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

De acuerdo a los supuestos enunciados precedentemente, se construyó la Tabla 23, donde se visualizan los  $m^2$  por coche obtenidos de la Tabla 4 y la capacidad por coche declarada por SBASE. Dado que esta última no distingue entre pasajeros parados y sentados, se asumirá que todos ellos se reparten en la superficie total del coche. Con estas consideraciones, el indicador de hacinamiento resultante varía entre  $3 p/m^2$  (líneas A, C, D, E y H) y casi  $4 p/m^2$  (línea B).

**Conclusiones.** Conociendo el valor máximo de hacinamiento que aprobarían los usuarios (entre  $2$  y  $2,7 p/m^2$ ) y el publicado por el prestador del servicio (entre  $3$  y  $3,96 p/m^2$ ), es necesario

Tabla 23

Capacidad declarada por coche según el Plan de Material Rodante de Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires

Línea	Flota	$m^2$ por coche	Capacidad por coche	$p/m^2$
A	CNR	44,2	133	3,01
B	Mitsubishi	48,8	193	3,95
B	CAF 5000	48,7	193	3,96
B	CAF 6000	48,7	193	3,96
C	Nagoya 300	37,5	115	3,07
C	Nagoya 1200	37,5	115	3,07
C	Nagoya 5000	37,5	115	3,07
D	Alstom 100	44,2	133	3,01
D	Fiat FM	44,2	133	3,01
E	G.E.E.	44,2	133	3,01
E	Fiat FM	44,2	133	3,01
H	Alstom 300	44,2	133	3,01
PM	Materfer FM	39,4	Sin datos	0,00

**Nota Fuente:** Elaboración propia en base a la información provista por Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2018). Plan de Material Rodante. Recuperado el 18 de mayo de 2018 desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/planeseinversiones/plan-de-material-rodante>

encontrar el valor  $m$  que minimizaría la pérdida  $L$ .

Si se selecciona un valor cercano a  $2 p/m^2$ , se minimiza el costo  $Q$  pero aumenta el costo  $C$  para el prestador. En cambio, un  $m$  tendiente a  $4 p/m^2$  genera el efecto contrario, ya que disminuye los costos  $C$  pero incrementa el costo para el usuario. Es necesario, por lo tanto, encontrar el valor medio del conjunto de datos que permita distribuir las pérdidas equitativamente entre usuarios y prestador.

Ante la imposibilidad de reconstruir las curvas  $Q$  y  $C$  para obtener la Curva  $L$ , el target  $m$  se obtuvo calculando la mediana de todos los valores informados. Es decir, se consideraron los valores máximos permitidos por los pasajeros ( $2$  y  $2,7 p/m^2$ ) y todos aquellos de la columna  $p/m^2$  en la Tabla 23 (con excepción del PM). En este contexto, se define que el target  $m$  es  $3 p/m^2$ , el cual permitirá minimizar las pérdidas ante la sociedad.

### Definición del valor de $k$

Para el Modelo Nominal Mejor, la constante  $k$  que monetiza los desvíos respecto a  $m$  se calcula utilizando la Ecuación 13

$$k = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \quad (13)$$

A diferencia de la Ecuación 8, el denominador se expresa como  $\Delta_0^2$ , ya que representa el cuadrado de la diferencia entre el target  $m$  y el valor  $y_0$  que origina una contramedida por parte del usuario.

Es importante destacar que  $k$  será la representación del costo para los pasajeros parados que ocasiona una unidad de desvío respecto a  $m$ , dada la baja probabilidad de encontrar un asiento durante gran parte del cronograma de servicio (Haywood y col., 2017).

**Determinación de  $\Delta_0^2$ .** Considerando que el target  $m$  es  $3 p/m^2$ , es necesario definir  $\Delta_0$ . Tal como se estableció en el Capítulo VII, este es el valor  $y_0$  que genera que el 50 % de los pasajeros considere al servicio como no funcional. En este caso, es el nivel de hacinamiento  $p/m^2$  que no cumple el mínimo nivel de calidad esperado por el usuario.

Para determinar este valor, se utilizó la encuesta realizada en el Metro de Santiago de Chile respecto a la percepción de comodidad ante distintos niveles de hacinamiento (Tirachini y col., 2017). Allí se refleja que la densidad de  $2 p/m^2$ , es reprobado por solo el 6 % de las mujeres y el 16 % de los hombres. En cambio, un hacinamiento equivalente a  $6 p/m^2$  es desaprobado por más del 90 % de los pasajeros. Es decir, 9 de cada 10 pasajeros le otorgó una calificación de 3 o menos. Es necesario, por lo tanto, identificar si la densidad de  $2 p/m^2$  y  $4 p/m^2$  generan un 50 % de desaprobación.

Las Figuras 23 y 24 muestran la distribución de calificaciones para el hacinamiento de  $2 p/m^2$  y  $4 p/m^2$  respectivamente, así como su frecuencia acumulada. De la Figura 23, se desprende que casi el 40 % de los hombres y el 31 % de las mujeres le otorgan una calificación menor a 4. Por lo tanto, no se llega a alcanzar el 50 % requerido para definir el límite funcional. Estos resultados no sorprenden, ya que como se explicó previamente, el mínimo nivel aprobado por los usuarios es de  $2 p/m^2$ .

Un diferente escenario evidencia la Figura 24, dado que el 76 % de los hombres y el 84 % de las mujeres desaprueban la densidad de  $4 p/m^2$ . De hecho, en promedio, el 63 % le otorga una calificación de 2 puntos o menos. En consecuencia, se puede afirmar que, al no resultar funcional para más del 50 % de los pasajeros, el límite  $y_0$  que genera la contraprestación  $A_0$  es  $4 p/m^2$ .

Si  $\Delta_0^2$  es el cuadrado de la diferencia entre  $m = 3 p/m^2$  e  $y_0 = 4 p/m^2$ , entonces se concluye que  $\Delta_0^2$  es equivalente a  $1 p/m^2$ .

**Determinación de  $A_0$ .** Si  $4 p/m^2$  es la densidad a partir de la cual el servicio deja de ser funcional para el 50 % de los pasajeros, ¿cuál es la pérdida monetaria  $A_0$  en la que deben incurrir los usuarios?

El costo o desutilidad que experimentan los pasajeros cuando se alcanza la pérdida funcional del servicio está dada por el Valor de los Ahorros en Tiempo de Viaje (VATV) para el límite funcional  $\Delta_0$  y el respectivo multiplicador de hacinamiento  $Z_0$  (*crowding multiplier*)

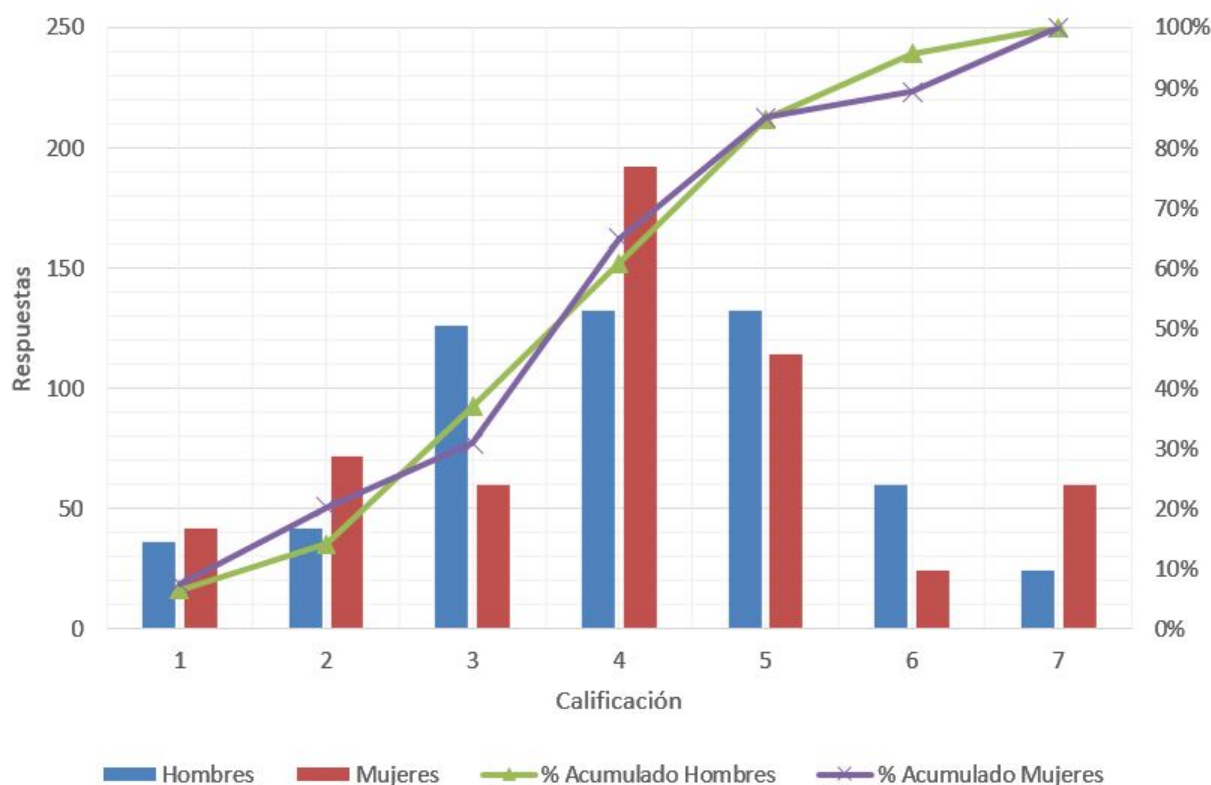


Figura 23.

Percepción de comfort de los pasajeros encuestados para una densidad de  $2 p/m^2$ . **Nota Fuente:** Elaboración propia en función a la información brindada por Tirachini, A. y col. (2017, septiembre). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326

$$k = \frac{VATV_0 * Z_0}{\Delta_0^2} \quad (14)$$

De acuerdo a la Tabla 7, se define al VATV como el 50 % del valor de la mediana del ingreso de los hogares a nivel nacional por hora, dado que, en el caso del hacinamiento, se considera el ahorro del tiempo en viaje. En cambio, para el costo de las demoras se había considerado el 100 % porque el ahorro de tiempo se lograba durante la espera en las estaciones. Asimismo, se recuerda que los viajes de ida y vuelta al trabajo, los cuales representan el 80 % de los viajes en los subterráneos de Buenos Aires (Isonomía, 2017), son clasificados como “Viajes Locales - Personales” (Belenky, 2011 y Oxford Economic Forecasting, 2003). Por lo tanto, si la mediana del ingreso de los hogares a nivel nacional por hora es \$97,8 (ver Capítulo VII), entonces  $VATV_0$  es \$48,9.

Respecto al valor de  $Z_0$ , el *crowding multiplier* depende del costo que cada grado de hacinamiento genera en los pasajeros, lo cual estará influenciado por motivos socioeconómicos y culturales. Asimismo, también existen diferencias entre la desutilidad provocada en pasajeros parados y en pasajeros sentados, siendo menor para estos últimos (Wardman y Whelan, 2011 y Tirachini

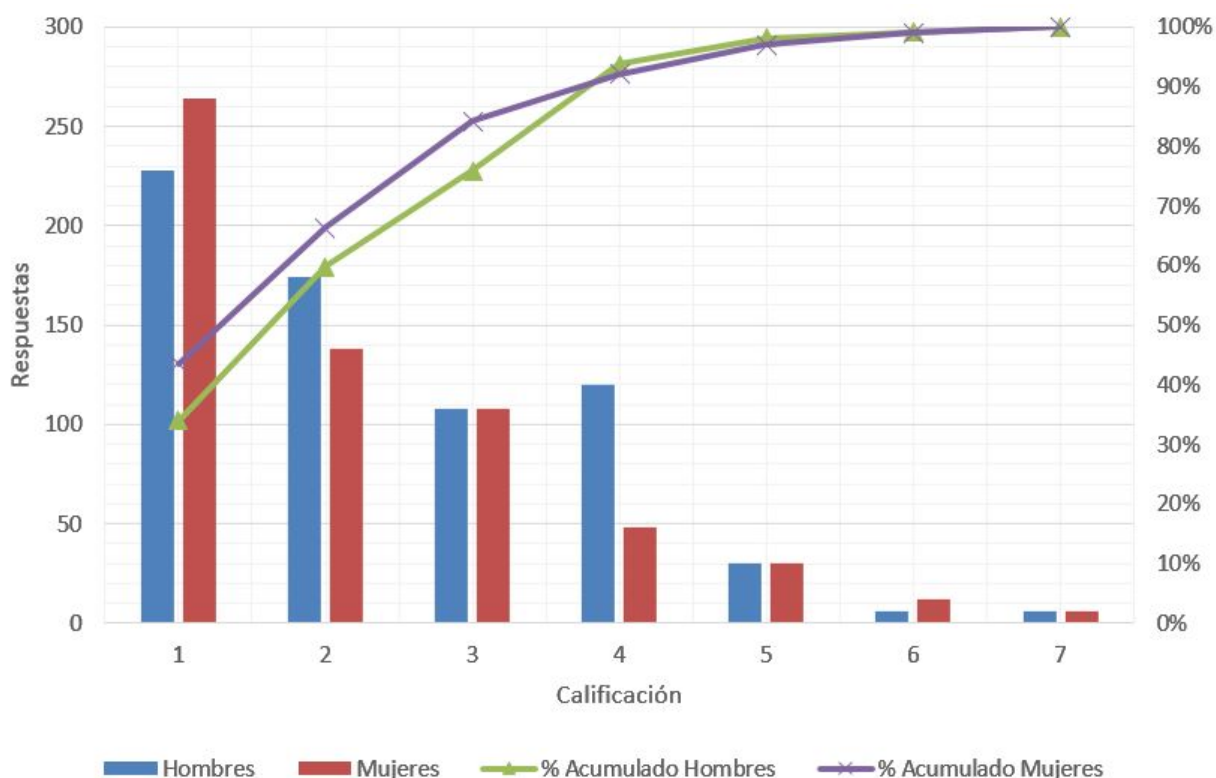


Figura 24.

Percepción de confort de los pasajeros encuestados para una densidad de  $4 p/m^2$ . **Nota** Fuente: Elaboración propia en función a la información brindada por Tirachini, A. y col. (2017, septiembre). Estimation of crowding discomfort in public transport: results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326

y col., 2017). Sin embargo, y tal como se mencionó en el apartado anterior, la baja probabilidad de encontrar un asiento durante gran parte del cronograma de servicios lleva a que el  $Z_0$  para pasajeros parados sea el más representativo para los subterráneos de Buenos Aires.

Por lo tanto, y en función de la definición de  $\Delta_0^2$ , se debe considerar el multiplicador para pasajeros parados cuando el nivel de hacinamiento sea  $4 p/m^2$ . Para calcularlo, Tirachini y col. (2017) consideran tres modelos: el Logit Multinomial básico, el Logit Mixto y el de Clases Latentes. Se decidió seleccionar el segundo dado que permite reflejar adecuadamente la heterogeneidad de la muestra, pero sin necesidad de distinguir entre distintos segmentos, como sí lo hace Clases Latentes. De acuerdo a esta definición, la mediana del  $Z_0$  para  $4 p/m^2$  es 1,65. En otras palabras, el beneficio de reducir el tiempo de viaje cuando la densidad de pasajeros sea  $4 p/m^2$  es 1,65 veces mayor al beneficio cuando no existan pasajeros parados ( $0 p/m^2$ ).

En base a la ecuación 14, se puede concluir que  $k$  para el hacinamiento es:

$$k = \frac{\$48,9 * 1,65}{1^2} \tag{15a}$$

$$k = \$80,69 \tag{15b}$$

---

## Obtención del indicador $p/m^2$ por día y por línea de Subterráneo

En el capítulo anterior, la variable de medición seleccionada (horas de demoras) fue obtenida directamente del reporte de minutos de interrupciones publicado por SBASE para el período 2012 a principios del 2017. No obstante, la información publicada específicamente sobre hacinamiento dista de ser tan detallada. La Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión mencionó en el Tablero de Control del 2017 la cantidad de pasajeros por  $m^2$  mensuales durante la Hora Pico Mañana, pero estos datos no se encuentran desglosados por línea ni por día. Por ello, se presenta la necesidad de calcular la variable  $p/m^2$  por día y por línea de subterráneo, a partir de los siguientes registros:

1. Pasajeros totales por hora: cantidad total de pasajeros registrados en una hora por línea.
2. Capacidad por hora: cantidad total de  $m^2$  disponibles para pasajeros parados por línea en función a las formaciones despachadas.

Es decir, si se conoce la cantidad de pasajeros que efectivamente viajaron y la capacidad de los coches despachados en igual período de tiempo, se podrá conocer el grado de hacinamiento reflejado como  $p/m^2$ . Con este objetivo, se consideró la siguiente información:

- Registros de Formaciones Despachadas por línea, fecha, horario y cantidad de coches (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018c)
- Cantidad de pasajeros por molinete en cada estación en rangos de 15 minutos (Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires, 2017)
- Censo de Pasajeros del 2014, el cual incluye estimaciones de la Composición de Pasajeros respecto a dirección de viaje y cantidad que suben, bajan y pasan por cada estación (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2014)

El Censo de Pasajeros será fundamental para complementar la información brindada por el registro de usuarios por molinete, dado que este último no detalla la cantidad de pasajeros que descienden en cada estación, la dirección de viaje de los mismos y el número de usuarios que provienen de otras líneas por combinación.

**Elección de escenarios.** El período seleccionado para evaluar el hacinamiento es el primer trimestre del 2017, lo cual permite comparar la época vacacional (enero y febrero) y laboral (marzo), además de coincidir con el período para el cual se calculó el factor de monetización  $k$  (mediana del ingreso de los hogares para el primer trimestre del 2017). Dentro del primer trimestre, se optó por calcular el hacinamiento y su consecuente MSD de los viajes realizados en días hábiles durante los siguientes intervalos de tiempo, los cuales constituyen los escenarios a medir:

- Hora Pico Mañana (HPM): 8 a 9 am hacia Cabecera 2 ( $C_2$ )
- Hora Pico Tarde (HPT): 6 a 7 pm hacia Cabecera 1 ( $C_1$ )

- Hora No Pico Mañana (HNPM): 10 a 11 am hacia Cabecera 2 ( $C_2$ )
- Hora No Pico Tarde (HNPT): 8 a 9 pm hacia Cabecera 1 ( $C_1$ )

Cabe destacar que el análisis de estos intervalos de tiempo siempre considerará la dirección descrita precedentemente. Es decir, cuando se refiera al intervalo Hora Pico Mañana u 8 a 9 am, los datos corresponderán a los viajes hacia la Cabecera 2 detallada en la Tabla 24 (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2016).

Es importante aclarar que se decidió modificar la clasificación original de las cabeceras de la línea H. Oficialmente, SBASE registra a Hospitales como Cabecera 2 y a Las Heras como Cabecera 1; a diferencia de lo que sucede con el resto de las líneas, su Cabecera 2 no se encuentra en el centro de la Ciudad de Buenos Aires (Hospitales está ubicada en el barrio de Parque Patricios). Esto significa que la mayor cantidad de pasajeros se dirigen a Las Heras durante la Hora Pico Mañana y a Hospitales durante la Hora Pico Tarde. Con el objetivo de armonizar los criterios, en la Tabla 24 se informa a Las Heras como  $C_2$  y a Hospitales como  $C_1$ .

Tabla 24

*Listado de las Cabeceras de las Líneas de Subte en Buenos Aires*

Línea	Cabecera 1 ( $C_1$ )	Cabecera 2 ( $C_2$ )
A	San Pedrito	Plaza de Mayo
B	Juan Manuel de Rosas	Leandro N. Alem
C	Constitución	Retiro
D	Congreso de Tucumán	Catedral
E	Plaza de los Virreyes	Bolivar
H	Hospitales	Las Heras
P	Intendente Sagui	Gral Savio

*Nota Fuente: Adaptado de Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2016). Listado de las Cabeceras de las estaciones del Subte. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.*

**Pasajeros totales por hora.** Respecto a la cantidad de pasajeros, se debe diferenciar cuál es la dirección de viaje de cada uno, es decir, cuál es la cabecera destino (ver Tabla 24). Como se mencionó previamente, el registro de pasajeros por molinetes no distingue entre cabeceras, por lo que se utilizó la información del Censo de Pasajeros publicado anualmente por Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, cuya última edición data del 2014.

La Composición de Pasajeros por franja horaria del Censo 2014 permite distinguir qué proporción de personas se dirige a cada cabecera en los intervalos seleccionados (Tabla 25). Por ejemplo, no sorprende que en Hora Pico Mañana (entre las 8 y las 9 am), el 73 % de los usuarios de la línea A viajen hacia Plaza de Mayo. En la Hora Pico Tarde (entre las 6 y las 7 pm), existe una distribución más equitativa entre ambas cabeceras; en el mismo ejemplo, el 58 % de los usuarios



de la línea A viajan hacia la Cabecera 1. Esto confirma las afirmaciones del Transport Committee (2003), el cual señala que el hacinamiento durante la Hora Pico Tarde es menor ya que las personas poseen mayor flexibilidad sobre el horario de viaje.

Si bien en la Tabla 25 se muestra el total de pasajeros por línea que se dirige a una y a otra cabecera, esta proporción varía entre las estaciones. Por ejemplo, en la estación Plaza de Mayo, el 100 % de los pasajeros ingresa con dirección hacia San Pedrito, no el 73 %. Por ello, para calcular el hacinamiento se utilizó la proporción de usuarios por estación que se dirigen a la cabecera destino (por ejemplo,  $C_2$  para el intervalo 8 a 9 am), reflejados en las Tablas C2 a C7 del Apéndice.

Respecto a la Tabla C7 de la Línea H, para las estaciones Hospitales a Once se tomó como referencia el mismo Censo de Pasajeros citado previamente (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2014). Dado que las estaciones Las Heras, Santa Fe y Córdoba no existían en 2014, para estos tres casos y Corrientes (dejó de ser cabecera) se consideró el promedio del porcentaje de pasajeros hacia  $C_2$  o  $C_1$  para las cuatro estaciones más cercanas a la cabecera destino en el resto de las líneas. Por ejemplo, Las Heras se convirtió en la nueva  $C_2$ , por lo que el porcentaje de pasajeros que se dirigen a la misma en el intervalo de 6 a 7 pm y 8 a 9 pm es cero. Por otro lado, Santa Fe es la segunda estación más próxima a la nueva  $C_2$ , por lo que su porcentaje se calculó considerando el promedio de los porcentajes de la segunda estación más próxima y más alejada de la  $C_2$  y la  $C_1$  respectivamente.

Tabla 25

*Porcentaje de pasajeros que viajan a las cabeceras de referencia, segmentado por los intervalos de tiempo seleccionados*

Línea	Hacia Cabecera 2		Hacia Cabecera 1	
	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
A	73 %	64 %	58 %	65 %
B	69 %	62 %	56 %	63 %
C	73 %	58 %	68 %	69 %
D	62 %	56 %	60 %	59 %
E	74 %	58 %	72 %	72 %
H	61 %	58 %	63 %	66 %
PM	66 %	33 %	29 %	35 %

**Nota Fuente:** *Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Asimismo, se debe agregar la cantidad de pasajeros que suben a la formación por combinación. Estos contribuyen al hacinamiento de dos o más líneas pero no se registran en la base de datos de Pasajeros por Molinetes. Por ello, se vuelve a considerar la información del Censo de 2014, más precisamente, la composición de pasajeros por franja horaria para cada línea. Con esta

información, se calculó la proporción del total de pasajeros que combinan, tal como se detalla en la Tabla 26.

Tabla 26

*Porcentaje de pasajeros que provienen de combinaciones, segmentado por línea y por intervalo de tiempo*

Línea	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
A	5 %	9 %	19 %	20 %
B	6 %	8 %	17 %	21 %
C	17 %	23 %	45 %	54 %
D	3 %	7 %	25 %	25 %
E	7 %	13 %	36 %	40 %
H	27 %	38 %	69 %	72 %

*Nota Fuente: Adaptado de Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Finalmente, se debe restar la cantidad de pasajeros que viajan sentados, ya que la capacidad considerada tiene en cuenta los  $m^2$  disponibles para pasajeros parados. Es decir, incluir a los pasajeros sentados sobreestimaría el hacinamiento, ya que la superficie neta de los coches no incluye al espacio ocupado por los asientos.

Cabe aclarar que, para calcular los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC), no se tomará en cuenta la cantidad de pasajeros que descienden por estación. Si bien se reconoce que el hacinamiento fluctúa a lo largo del trayecto, la fijación de un target de hacinamiento por estación sobreestimaría las pérdidas de calidad. Es decir, es operativa y económicamente inviable que el nivel de densidad de pasajeros en cada estación sea  $3 p/m^2$ , ya que la propia naturaleza del transporte público implica la existencia de nodos de mayor tráfico (como aquellas estaciones que combinan con otras líneas de subterráneos o de otro tipo de transporte) y por lo tanto, de variabilidad inevitable entre estaciones.

En resumen, los datos obtenidos del total de pasajeros por hora consideran:

1. Pasajeros de líneas A, B, C, D, E y H (se excluye al Premetro)
2. Cuatro intervalos de tiempo hacia una cabecera específica:
  - a) Hora Pico Mañana hacia  $C_2$
  - b) Hora No Pico Mañana hacia  $C_2$
  - c) Hora Pico Tarde hacia  $C_1$
  - d) Hora No Pico Tarde hacia  $C_1$
3. Pasajeros que ingresen por los molinetes durante días hábiles de Enero, Febrero y Marzo

- 
4. Pasajeros que ingresen a cada línea por combinaciones durante días hábiles de Enero, Febrero y Marzo 2017
  5. La exclusión de los pasajeros que viajan sentados (considerando los números de asientos en cada coche).

**Capacidad por hora.** Para determinar la capacidad por hora, se consideró la información provista por SBASE respecto a las formaciones despachadas en Enero, Febrero y Marzo 2017 (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018c). Allí se detalla el horario de salida por cabecera, la cantidad de coches, la fecha, línea y hasta el motivo de no despacho de todas las formaciones. En este sentido, se tomaron en cuenta las formaciones efectivamente despachadas que cumplan las siguientes características:

1. Corresponden a días hábiles de Enero, Febrero y Marzo 2017
2. Su horario de salida pertenece a alguno de los cuatro Escenarios a medir:
  - a) Para Hora Pico Mañana: horario de salida desde  $C_1$  entre las 8 y las 9 am
  - b) Para Hora No Pico Mañana: horario de salida desde  $C_1$  entre las 10 y las 11 am
  - c) Para Hora Pico Tarde: horario de salida desde  $C_2$  entre las 6 y las 7 pm
  - d) Para Hora No Pico Tarde: horario de salida desde  $C_2$  entre las 8 y las 9 pm
3. Corresponden a las líneas A, B, C, D, E y H. La línea PM fue excluida ya que no existen datos certeros sobre el total de pasajeros por intervalo y dirección, tal como se comentó precedentemente.

Considerando la cantidad de coches que se despacharon en los intervalos de tiempo estudiados, se requieren conocer los  $m^2$  para pasajeros parados disponibles en cada tipo de flota despachada. Esto se resume en la Tabla 27, la cual fue elaborada tomando en cuenta las medidas por coche informadas por la Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires (2013) y la cantidad de asientos declarada por SBASE. Al igual que en la Tabla 22, se asume que cada asiento mide, en promedio, 40 cm de largo por 40 cm de ancho. De esta forma, se obtienen los  $m^2$  netos disponibles para pasajeros parados, los cuales serán utilizados para calcular el indicador  $p/m^2$  de hacinamiento.

Cabe destacar que, de acuerdo al Estado de Flota informado por SBASE, entre Enero y Marzo 2017 existen tres líneas con dos tipos distintos de flota en servicio: las líneas B, C y D (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018b) Esta heterogeneidad tiene un impacto directo en la capacidad de la línea, ya que cada modelo de coche posee una diferente cantidad de asientos y de superficie total, con la excepción de los Nagoya, quienes tienen idéntica configuración. En el caso de la línea B, la flota Mitsubishi representa el 61 % de los coches operativos de la línea, mientras que los recientemente incorporados CAF 6000 componen el 39 % restante. Por otro lado,

Tabla 27

Capacidad en  $m^2$  por coche para pasajeros parados, segmentado por línea y por tipo de flota (Enero-Marzo 2017)

Línea	Flota	Asientos por coche	$m^2$ por coche	$m^2$ de asientos	$m^2$ netos
A	CNR	36	44,20	5,76	38,44
B	Mitsubishi	50	48,83	8,00	40,83
B	CAF 6000	28	48,72	4,48	44,24
C	Nagoya	42	37,50	6,72	30,78
D	Alstom	35	44,20	5,60	38,60
D	Fiat FM	44	44,17	7,04	37,13
E	GEE	41	44,20	6,56	37,64
H	Alstom	35	44,20	5,60	38,60

**Nota Fuente:** Elaboración propia en base a la información provista por Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires. (2013). Informe Final de Auditoría - Proyecto Nro. 1.13.15, Ley 4472 y por Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017). Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Cantidad de Viajes, Asientos y CKM. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.

los Alstom y los Fiat FM totalizan el 66 % y el 34 % respectivamente de las formaciones en servicio de la línea D. Considerando estos porcentajes y los  $m^2$  netos de cada tipo de flota (Tabla 27), se calculó el promedio de capacidad por coche para las líneas B y D, siendo 42,18  $m^2$  y 38,10  $m^2$  respectivamente.

Conociendo el área disponible de cada tipo de flota y la cantidad de coches despachados por línea en cada intervalo de tiempo estudiado, se obtuvo la capacidad por hora en  $m^2$  de cada línea, segmentado por día. La posibilidad de obtener la capacidad por hora para cada día hábil entre Enero y Marzo 2017 permite estimar con mayor precisión el subsecuente Error Cuadrático Medio (MSD) que si fuera agrupado por mes o por semana.

**Estimación de  $p/m^2$ .** Conociendo la capacidad en  $m^2$  y la cantidad de pasajeros que abordan las formaciones por hora, es posible obtener el hacinamiento por línea y por día expresado en  $p/m^2$ . En las Figuras 25 y 26 se visualizan los promedios por línea y escenario para dos períodos: estival (Enero y Febrero) y Marzo 2017. A pesar de que la cantidad de pasajeros registrados durante la época vacacional de Enero y Febrero es efectivamente menor, la comparación entre las dos figuras de referencia demuestra que no existen divergencias relevantes entre el hacinamiento de ambos períodos. Esto se explica por el aumento de formaciones despachadas a partir de Marzo (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018c), con el fin de absorber el incremento natural de usuarios.

Por otro lado, la diferencia existente entre los niveles de hacinamiento de la línea C durante

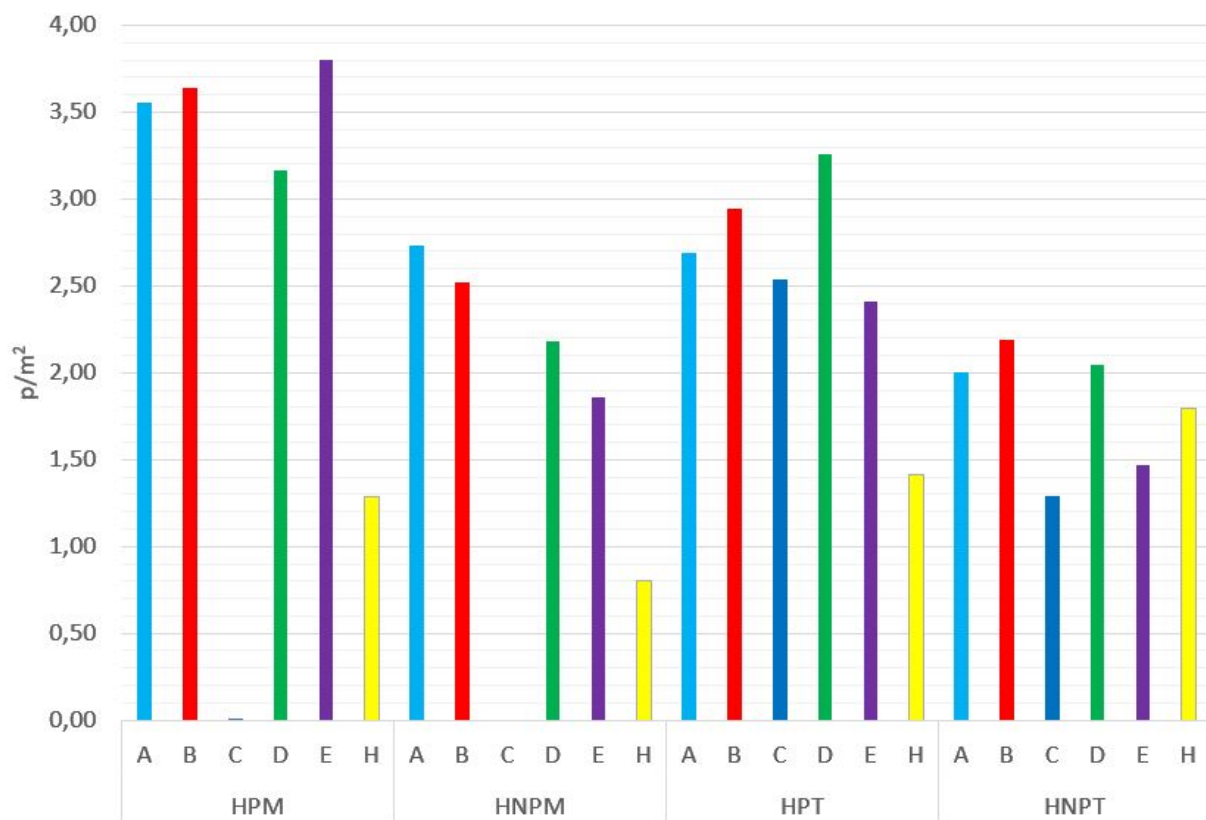


Figura 25.

Promedio de  $p/m^2$  (Enero y Febrero 2017), segmentado por Escenario y por línea. **Nota** Fuente: Elaboración propia

los dos primeros escenarios de ambos períodos se debe a los trabajos de mantenimiento y modernización de la estación Constitución. Al ser uno de los principales nodos de transporte público del área metropolitana de Buenos Aires, el 77,8 % de los pasajeros de la línea C que viajan con destino a Retiro durante las 8 y las 9 a.m. abordan en Constitución (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2014). Por lo tanto, las obras que obligaron a cerrarla generaron una importante caída en la cantidad total de usuarios (Figura 14). Al no contar con el flujo de pasajeros de Constitución, el 22,2 % restante pudo viajar sentado; por lo tanto, los  $p/m^2$  fueron equivalentes a cero. En cambio, el impacto fue menor en los Escenarios HPT y HNPT, a pesar de que, normalmente, un idéntico 77,8 % de los usuarios que suben en Retiro descienden en Constitución (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2014).

En las líneas A, B, C y E, el hacinamiento durante la Hora Pico Tarde es menor que durante la HPM, confirmando así la afirmación de Transport Committee (2003), quienes aseguran que los usuarios del transporte público tienen mayor flexibilidad horaria en su regreso de trabajo. Esto les permite, en general, postergar su horario de salida para no experimentar la incomodidad del hacinamiento en hora pico. Sin embargo, las figuras 25 y 26 muestran que las líneas D y H constituyen una excepción, ya que la densidad de pasajeros se ve acentuada por la tarde.

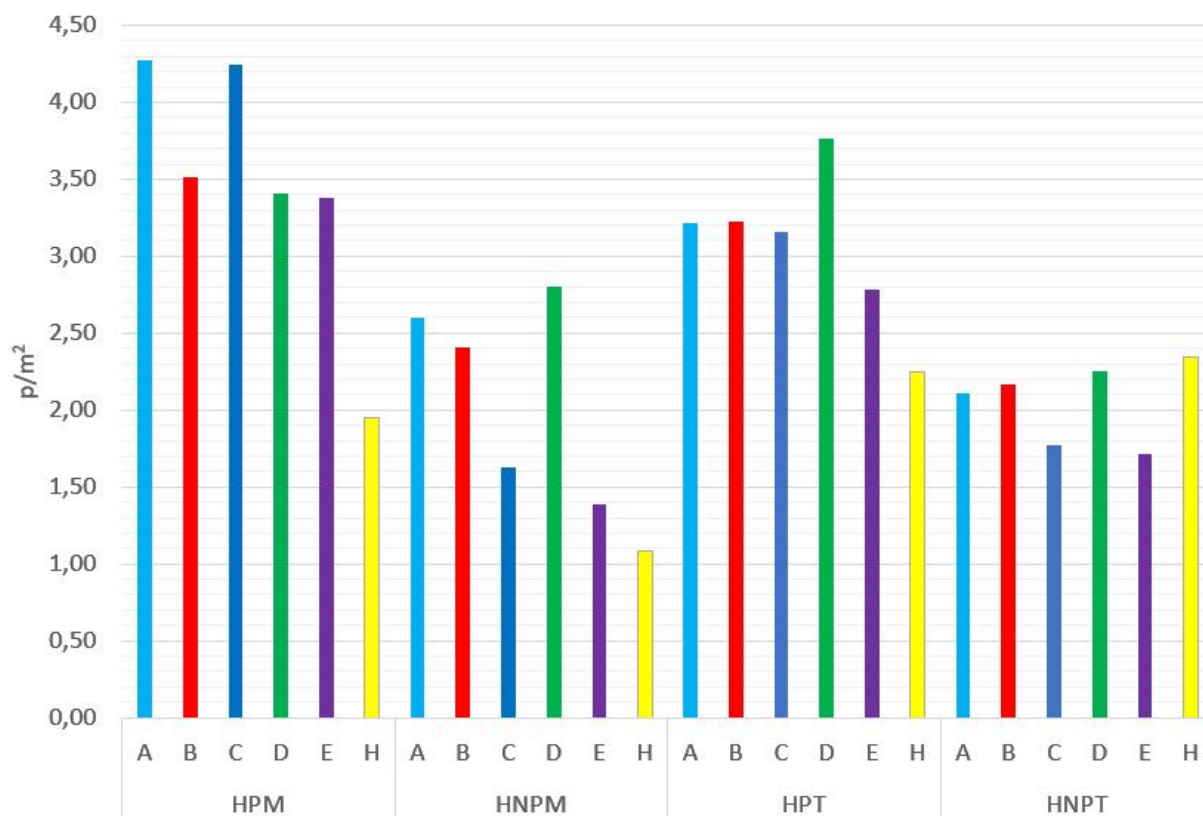


Figura 26.

Promedio de  $p/m^2$  (Marzo 2017), segmentado por Escenario y por línea. **Nota** Fuente: Elaboración propia

**Detección de Outliers.** Dado que el MSD está compuesto no solo por la media del hacinamiento sino también por su varianza, es importante identificar si existen *outliers* o resultados anormales de hacinamiento que puedan disminuir la representatividad de los desvíos. En este sentido, se detectaron tres casos puntuales, los cuales pueden visualizarse en las Figuras 27 a 29.

En el primer caso, el 22 de Febrero de 2017 durante las 8 y las 9 a.m. se registraron 11,53  $p/m^2$  en la línea D (Figura 27). La causa de tal diferencia respecto al resto del mes se debe a que solo se despacharon 30 coches, mientras que el promedio mensual en la línea D durante la Hora Pico Mañana (HPM) fue de 98 coches (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018c). Al observar la información sobre las causas de no despacho, SBASE informa que 11 formaciones de 6 coches cada una no pudieron ser despachadas desde la  $C_1$  por un coche descompuesto, el cual estuvo detenido sin maniobra en la Estación Juramento y limitó el servicio entre las estaciones José Hernández y Catedral por 57 minutos (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2017b). Es decir, este nivel de densidad de pasajeros excepcional fue producido por una interrupción en el servicio, demostrando así la existencia de retroalimentación entre las demoras y el hacinamiento en subterráneos. La misma está acentuada por el hecho de que los pasajeros que no pudieron abordar a una formación hacinada tuvieron que seguir esperando en la estación.

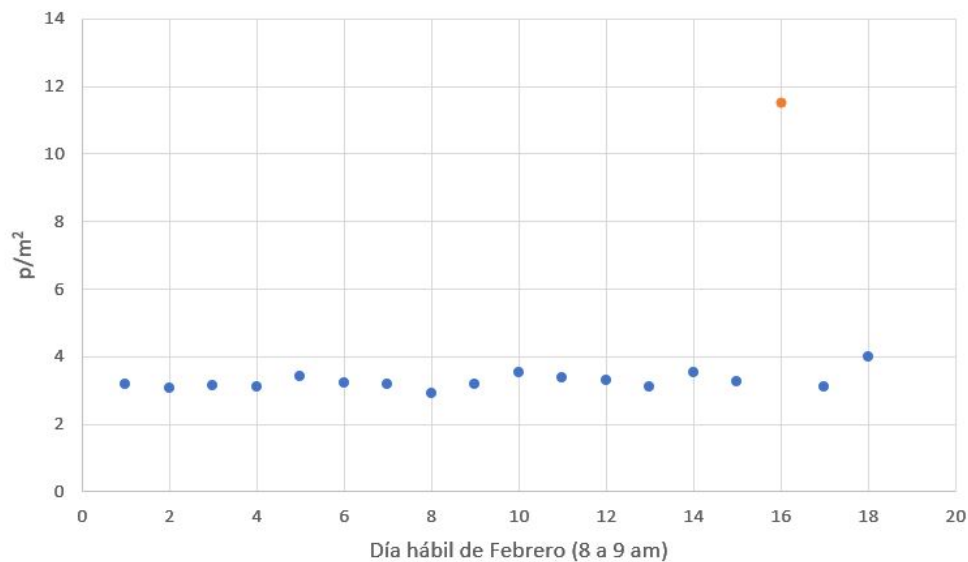


Figura 27.

Hacinamiento diario registrado en la Línea D durante Febrero 2017 (8 a 9 a.m). **Nota** Fuente: Elaboración propia

Idéntico análisis se efectuó en el caso del *outlier* 2 detectado en la línea B y reflejado en la Figura 28. El 9 de Marzo de 2017, también durante la HPM, se registró un hacinamiento de  $14,73 p/m^2$ . Dicho nivel de densidad de pasajeros es considerado como *Super Crush Dense Load*, término acuñado para describir el hacinamiento extremo del transporte público en Mumbai (La Nación, 2017). Si bien el promedio de coches operativos durante la HPM para la línea B era de 116 coches, ese día solo se despacharon 18. El resto fueron registrados como Coches Descompuestos, lo cual explica el hacinamiento extremo.

Finalmente, el último *outlier* fue encontrado en la línea C durante la Hora Pico Tarde del 4 de Enero de 2017. El alto hacinamiento se debe a un conflicto gremial, por el cual solo dos formaciones fueron despachadas durante ese intervalo. En la Figura 29, se aprecia la notoria diferencia entre los  $14,02 p/m^2$  de la fecha y el promedio mensual de  $2,48 p/m^2$ .

En conclusión, estos tres casos serán excluidos de la estimación del MSD que se realizará en el próximo apartado. De esta forma, se evita la sobreestimación de la varianza y la consecuente incertidumbre presente en la provisión del servicio de subterráneos.

### Definición del Error Cuadrático Medio o *MSD*

Para medir los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) generados por el hacinamiento, se requiere obtener el MSD para el Modelo Nominal Mejor, el cual está compuesto por (Ecuación 12):

- $\sigma^2$ : variabilidad de la densidad de pasajeros  $y$  respecto al promedio  $\bar{y}$ .

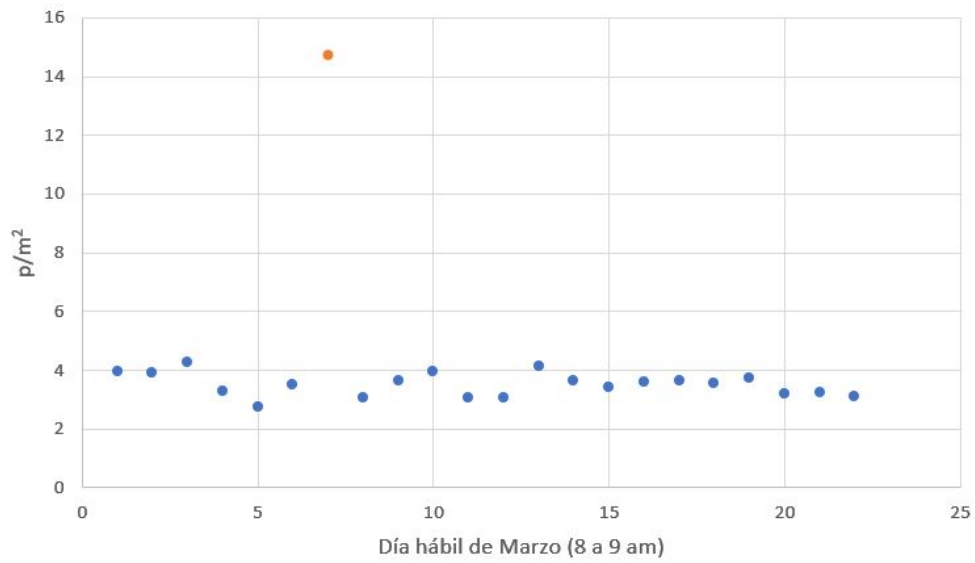


Figura 28.

Hacinamiento diario registrado en la Línea B durante Marzo 2017 (8 a 9 a.m). **Nota** Fuente: Elaboración propia

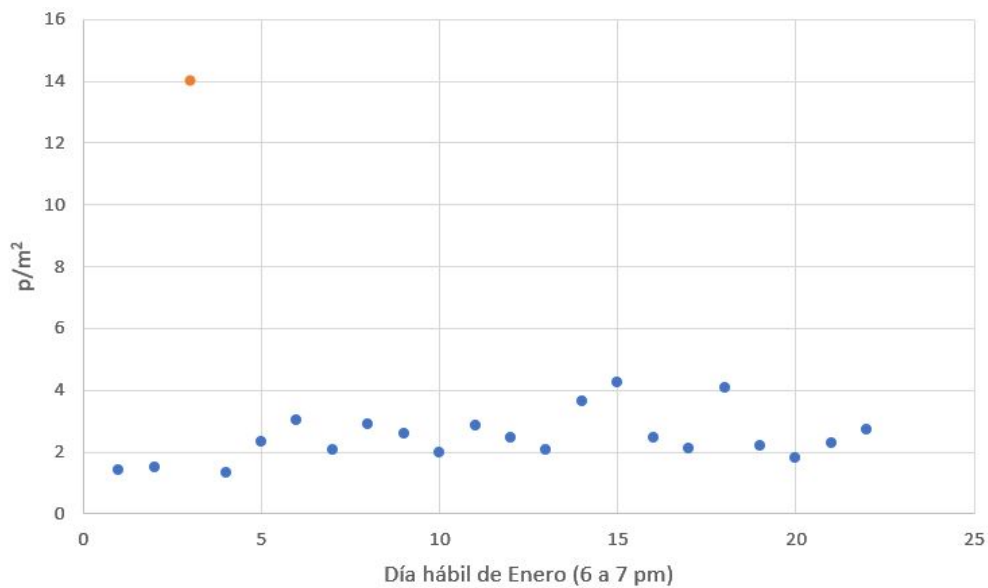


Figura 29.

Hacinamiento diario registrado en la Línea C durante Enero 2017 (6 a 7 p.m). **Nota** Fuente: Elaboración propia



- 
- $(\bar{y} - m)^2$ : desvío del promedio de la característica de calidad respecto al target  $m = 3p/m^2$

Si bien es necesario minimizar ambos componentes, la reducción de  $\sigma^2$  permite operar con menor incertidumbre y, por lo tanto, representa a un servicio más robusto (Taguchi & Clausing, 1990). En cambio, el desvío de  $\bar{y}$  respecto al target  $m$  es más fácil de ajustar, tal como se explicó en el Capítulo VII respecto al MSD de las demoras. Por lo tanto, las dos fuentes de desvío tienen distinta ponderación en cuanto a su gravedad e impacto: mientras que un  $(\bar{y} - m)^2$  mayor puede corregirse por la existencia de una causa raíz única para el desvío, un alto  $\sigma^2$  demuestra que los resultados obtenidos por el servicio son impredecibles y causados por múltiples factores. Por ello, se desprende la conclusión de que un mismo Error Cuadrático Medio puede representar un servicio con mayor o menor robustez.

Conociendo  $m$ , entonces, se puede calcular el MSD teniendo en cuenta dos perspectivas diferentes:

- Medición global del servicio: se considera el promedio del indicador  $p/m^2$  por mes para los años 2015, 2016 y 2017, sin distinguir el rendimiento de cada línea de subterráneo.
- Medición específica por línea: tomando en cuenta los  $p/m^2$  por día y línea obtenidos en el apartado anterior.

**Descripción de la medición global del servicio.** Esta perspectiva considera la información brindada por el Tablero de Control a Diciembre 2017 de los Subterráneos de Buenos Aires publicada por la Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión (Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión, 2017) del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Con esta información, se elaboró la Tabla 28, la cual describe el promedio de densidad de pasajeros por mes para los viajes realizados en Hora Pico Mañana.

Considerando entonces los resultados de la tabla 28, se obtuvo la variabilidad  $\sigma^2$  y el desvío del promedio respecto al target. Con estos datos, se expone el Error Cuadrático Medio (MSD) resultante por año en la Tabla 29, donde  $y$  es el promedio mensual de densidad por año. El año con menor variación y, por lo tanto, con menores CNCC es 2017. No solo presenta la menor diferencia cuadrada entre el promedio de las observaciones  $y$  y el target  $m$  sino además la mayor robustez de servicio, ya que  $\sigma^2$  es la menor del período estudiado.

Sin embargo, la medición global presenta diversas limitaciones. Primero, no permite distinguir los CNCC por línea, ya que el promedio de observaciones solo está segmentado por mes y por año. Por otro lado, los  $y$  reflejados en la Tabla 28, al ser promedios de observaciones individuales, subestiman la  $\sigma^2$  que se obtendría al calcular la varianza desde las propias observaciones individuales. Por lo tanto, es probable que el Error Cuadrático Medio (MSD) sea incluso mayor si se logran desglosar los desvíos en unidades de representación más acotadas; por ejemplo, el hacinamiento observado cada 15 minutos en lugar de considerar el promedio mensual. Asimismo,

Tabla 28

*Cantidad de Pasajeros por m<sup>2</sup> en Hora Pico Mañana (8 a 9 am) para el conjunto de las líneas de subterráneos*

	2015	2016	2017
Enero	3,8	4,1	3,9
Febrero	4,4	4,5	4,5
Marzo	4,4	4,7	5,1
Abril	5,1	5,1	4,8
Mayo	5	5,3	5,1
Junio	5	5,5	4,8
Julio	4,7	5	4,3
Agosto	5	5,5	4,6
Septiembre	5	5,5	4,7
Octubre	5	5,4	4,7
Noviembre	4,9	4,9	4,6
Diciembre	5	4,9	4,6

*Nota Fuente: Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión (2017). Tablero de Control - Cierre Diciembre 2017. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla 29

*Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) según la cantidad promedio de pasajeros por m<sup>2</sup> informados por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires*

	2015	2016	2017
$\bar{y}$	4,78	5,03	4,64
$(\bar{y} - m)^2$	3,15	4,13	2,70
$\sigma^2$	0,15	0,20	0,11
MSD	3,30	4,33	2,80

*Nota Fuente: Elaboración propia*

tampoco permite distinguir la calidad del servicio en distintos rangos horarios, tal como Hora Pico Tarde, o en distintos meses.

**Descripción de la medición particular por línea.** La medición por línea permite solucionar las deficiencias de la estimación global, ya que se puede distinguir cuáles brindan un servicio más robusto en cuanto a la característica de calidad hacinamiento. Asimismo, se consideran datos sobre la cantidad total de pasajeros que ingresan en cada estación en intervalos de 15 minutos, así como el horario de cada una de las formaciones despachadas. El precio a pagar por una mayor precisión y riqueza de los resultados es el desarrollo de una metodología más compleja, la cual se describirá a continuación.

Para ello, se tomarán en cuenta los  $p/m^2$  por línea, mes y escenario (intervalo horario) defi-

---

nidos en la sección precedente. Es decir, se medirá el MSD en los cuatro escenarios planteados:

1. Hora Pico Mañana hacia  $C_2$
2. Hora No Pico Mañana hacia  $C_2$
3. Hora Pico Tarde hacia  $C_1$
4. Hora No Pico Tarde hacia  $C_1$

Por lo tanto, los MSD en cada escenario se obtendrán de la densidad de pasajeros parados ( $p/m^2$ ) por día hábil, segmentados primariamente por línea y secundariamente por mes (Enero, Febrero y Marzo del 2017).

### Medición del MSD por escenario

La medición de escenarios, al igual que para el caso de las interrupciones, consiste en la obtención del Error Cuadrático Medio o Mean-Squared Deviation (MSD) para cada uno de los intervalos de tiempo y su multiplicación por el factor de monetización  $k$ .

Conociendo el target  $m$  y la constante  $k$ , la Ecuación 12 queda conformada de la siguiente manera:

$$L = 80,69[\sigma^2 + (\bar{y} - 3)^2] \quad (16)$$

Siendo

- $m$ : el target de densidad de pasajeros parados por coche
- $k$ : la pérdida en pesos argentinos para cada usuario del subterráneo ante una unidad de desvío del target  $m$
- $\bar{y}$ : la media del hacinamiento diario por línea, mes y escenario (por ejemplo:  $p/m^2$  registrado de 8 a 9 a.m. el día 02/01/2017 en la línea A)
- $\sigma^2$ : la varianza del hacinamiento diario por línea, mes y escenario.

**L bajo Escenario de Hora Pico (HPM y HPT).** Los dos primeros escenarios están compuestos por la densidad de pasajeros parados por línea y por día durante el intervalo horario de 8 a 9 a.m. y de 6 a 7 p.m., los cuales forman parte de la Hora Pico establecida por SBASE; la misma es definida entre las 8 a 10 a.m. y las 6 a 8 p.m. (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018a).

Para ello, se utilizaron los valores de  $p/m^2$  obtenidos de la cantidad de pasajeros que pasaron por molinetes y la capacidad de los coches. Respecto a la Hora Pico Mañana, las Tablas 30 y 31 muestran el MSD que resulta de la aplicación de la Ecuación 16 y sus dos componentes variables: la media del hacinamiento diario ( $\bar{y}$ ) y su varianza ( $\sigma^2$ ). De este análisis se derivan tres grupos.

Tabla 30

*Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HPM (Enero a Marzo 2017)*

Línea	Enero 2017			Febrero 2017			Marzo 2017		
	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD
A	3,35	0,03	0,16	3,76	0,08	0,66	4,27	0,12	1,74
B	3,48	0,06	0,29	3,80	0,10	0,73	3,52	0,15	0,42
C	0,00	0,00	9,00	0,01	0,00	8,97	4,24	1,32	2,87
D	3,05	0,05	0,06	3,28	0,06	0,13	3,41	0,20	0,37
E	3,99	2,65	3,62	3,62	0,43	0,82	3,38	0,36	0,50
H	1,16	0,02	3,43	1,41	0,02	2,54	1,95	0,15	1,24

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla 31

*Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HPT (Enero a Marzo 2017)*

Línea	Enero 2017			Febrero 2017			Marzo 2017		
	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD
A	2,61	0,06	0,21	2,76	0,05	0,11	3,22	0,10	0,15
B	2,87	0,15	0,17	3,02	0,09	0,09	3,22	0,75	0,80
C	2,48	0,60	0,87	2,60	0,29	0,45	3,16	0,27	0,29
D	3,00	0,24	0,24	3,52	0,27	0,54	3,76	0,55	1,13
E	2,66	1,45	1,57	2,16	0,23	0,94	2,78	1,40	1,45
H	1,22	0,03	3,19	1,60	0,06	2,01	2,25	0,16	0,72

*Nota Fuente: Elaboración propia*

**Líneas A, B y D.** Por un lado, las líneas A, B y D demuestran el mejor rendimiento del período en estudio, con un Error Cuadrático Medio que no supera la unidad en la mayor parte de los casos, exceptuando a Marzo 2017 durante HPT para la línea D y durante HPM para la línea A. Si no se considera esta última excepción, tampoco se detecta un incremento significativo de la demanda en el mes de Marzo, denotando niveles relativamente constantes de hacinamiento promedio y de variabilidad del servicio.

Las dos excepciones mencionadas en Marzo 2017 se explican por los siguientes factores:

- Línea A: significativo incremento de la cantidad media de pasajeros (superando el límite funcional de  $4 p/m^2$ ) luego de la finalización del período vacacional.
- Línea D: se registró una importante variabilidad  $\sigma^2$  durante la tarde, resultando en un servicio con menor robustez.

Como resultado, los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) generados son, en pro-

medio, los más acotados de la red de subterráneos, por lo que sus usuarios experimentan menores pérdidas monetarias que los del resto de la líneas.

**Líneas C, E y H.** La línea E se destaca por un comportamiento errático reflejado en la importante variabilidad de su servicio. Mientras que la media no difiere significativamente de otras líneas (e incluso es una de las más cercanas al target  $m$ ), el valor de  $\sigma^2$  presenta fluctuaciones, especialmente en los meses de Enero (para HPM y HPT) y Marzo (HPT). Por lo tanto, presta un servicio con alta incertidumbre respecto a su hacinamiento.

Sin embargo, las líneas C y H poseen el peor desempeño del período. En el caso de la línea C, se explicó precedentemente que durante Enero y Febrero se cerró la Estación Constitución, razón por la cual prácticamente no existió hacinamiento en la HPM. Esto resultó en Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por imposibilidad de acceder a una de las cabeceras del servicio (los usuarios regulares que abordan o descienden en Constitución tuvieron que invertir más tiempo y/o dinero para llegar a destino) así como también originó pérdidas para el prestador, dado que se redujo sensiblemente la cantidad de usuarios. Durante la HPT, en cambio, el servicio es decididamente más robusto y no demuestra la caída de usuarios de Enero y Febrero, ya que la cabecera origen medida (Retiro) continuaba operativa para realizar viajes hasta Estación San Juan.

Por otro lado, la línea H presenta un  $\sigma^2$  acotado, demostrando un servicio robusto y confiable. No obstante, la escasa cantidad de pasajeros que utilizan regularmente la línea deriva en un MSD relativamente alto, dado el desvío registrado respecto al target  $m$ .

Tabla 32  
Pérdida  $L$  por hacinamiento bajo Escenario HPM y HPT

Línea	Enero 2017		Febrero 2017		Marzo 2017	
	$L_{HPM}$	$L_{HPT}$	$L_{HPM}$	$L_{HPT}$	$L_{HPM}$	$L_{HPT}$
A	\$ 12,65	\$ 16,81	\$ 53,14	\$ 8,90	\$ 139,86	\$ 11,87
B	\$ 23,17	\$ 13,67	\$ 59,17	\$ 7,58	\$ 33,92	\$ 64,55
C	\$ 725,40	\$ 70,05	\$ 722,84	\$ 36,52	\$ 231,33	\$ 23,57
D	\$ 4,51	\$ 19,01	\$ 10,77	\$ 43,31	\$ 29,64	\$ 91,12
E	\$ 291,77	\$ 126,57	\$ 65,79	\$ 75,79	\$ 40,43	\$ 117,00
H	\$ 276,11	\$ 256,75	\$ 204,60	\$ 161,66	\$ 100,30	\$ 58,42

**Nota Fuente:** Elaboración propia

Como consecuencia, la Tabla 32 muestra las pérdidas  $L$  para la sociedad por los desvíos respecto al target  $m$  de la característica de calidad hacinamiento durante HPM y HPT. En el primer escenario, las mayores pérdidas  $L$  para la sociedad se experimentaron en la línea C durante Enero y Febrero (costo promedio de \$ 724,12 por día), la línea E en Enero (\$ 291,77 por día) y la línea H en los tres meses (promedio de \$ 193,67 por día). Para HPT, las mayores pérdidas  $L$  se registraron

en la Línea E y la línea H, con costos promedio durante los tres meses de \$ 106,45 y \$ 158,95.

En otras palabras, cada usuario del subterráneo experimentó Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por cada viaje durante HPM y HPT según los valores expresados en la Tabla 32.

**L bajo Escenarios de Hora No Pico (HNPM y HNPT).** Los dos escenarios restantes representan el hacinamiento por línea y por día durante dos intervalos de la Hora No Pico (Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado, 2018a): desde las 10 a las 11 a.m. (Hora No Pico Mañana) y desde las 8 a las 9 p.m. (Hora No Pico Tarde).

Al igual que en la subsección anterior, las Tablas 33 y 34 representan el Error Cuadrático Medio junto a la variabilidad  $\sigma^2$  del servicio y su media respecto a la característica de calidad hacinamiento. El análisis de los resultados se expresa a continuación.

Tabla 33  
Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HNPM (Enero a Marzo 2017)

Línea	Enero 2017			Febrero 2017			Marzo 2017		
	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD
A	2,57	0,05	0,23	2,89	0,05	0,06	2,60	0,21	0,37
B	2,27	0,08	0,62	2,77	0,07	0,12	2,40	0,37	0,73
C	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	9,00	1,63	0,39	2,27
D	1,88	0,05	1,30	2,48	0,07	0,34	2,80	0,28	0,32
E	1,65	0,48	2,30	2,08	0,14	0,99	1,39	0,16	2,76
H	0,75	0,07	5,11	0,85	0,01	4,64	1,08	0,03	3,72

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla 34  
Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSD) por línea bajo Escenario HNPT (Enero a Marzo 2017)

Línea	Enero 2017			Febrero 2017			Marzo 2017		
	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD	$\bar{y}$	$\sigma^2$	MSD
A	1,88	0,09	1,35	2,12	0,02	0,79	2,11	0,10	0,90
B	2,04	0,04	0,96	2,34	0,08	0,52	2,17	0,17	0,86
C	1,22	0,06	3,23	1,36	0,01	2,70	1,77	0,10	1,60
D	1,87	0,04	1,32	2,22	0,05	0,65	2,26	0,16	0,72
E	1,33	0,05	2,83	1,60	0,13	2,08	1,72	0,20	1,84
H	1,61	0,03	1,96	1,98	0,03	1,08	2,34	0,10	0,53

*Nota Fuente: Elaboración propia*

**Líneas A, B y D.** Demostrando resultados similares a los dos primeros escenarios abordados, las líneas A, B y D poseen el mejor desempeño del período estudiado, ya que presentan una incertidumbre mayoritariamente acotada (exceptuando Marzo 2017 durante HNPM) y una media de usuarios cercana a  $3 p/m^2$ . No obstante, cabe destacar la existencia de las siguientes excepciones:

- HNPM durante Enero 2017: a pesar de que  $\sigma^2$  es cercano a cero, el MSD de 1,30 para la línea D se debe a una reducida cantidad de pasajeros, lo cual posiblemente responda al inicio del período vacacional.
- HNPT durante Enero 2017: el impacto de la disminución de pasajeros se acentúa durante la tarde, afectando nuevamente a la línea D pero también a la Línea A, las cuales poseen un Error Cuadrático Medio de 1,32 y 1,35 respectivamente.

**Líneas C, E y H.** El errático desempeño de la línea E no se limita simplemente a la Hora Pico, sino que también se constata durante los intervalos HNPM y HNPT. Además de registrar un nivel de usuarios por debajo del target, también presenta una varianza significativa en Enero 2017 (HNPT).

En el caso de las líneas C y H, se repiten resultados similares a los experimentados durante la Hora Pico. En la línea C, el efecto del cierre de la estación Constitución se refleja en la ausencia de hacinamiento durante Enero y Febrero en los viajes hacia Retiro (HNPM) y la falta de impacto de esta circunstancia en los viajes hacia Constitución (HNPT). Respecto a este último, el acotado nivel de  $p/m^2$  representa la razón por la cual el Error Cuadrático Medio es significativo. Por el lado de la línea H, se mantiene la robustez del servicio respecto a su acotada variabilidad y el bajo nivel de pasajeros, con excepción de Marzo 2017 durante la Hora No Pico Tarde. En este caso, el hacinamiento superó por única vez los  $2 p/m^2$ .

Tabla 35  
Pérdida  $L$  por hacinamiento bajo Escenario HNPM y HNPT

Línea	Enero 2017		Febrero 2017		Marzo 2017	
	$L_{HNPM}$	$L_{HNPT}$	$L_{HNPM}$	$L_{HNPT}$	$L_{HNPM}$	$L_{HNPT}$
A	\$ 18,86	\$ 108,61	\$ 5,14	\$ 63,48	\$ 29,66	\$ 72,57
B	\$ 49,75	\$ 77,62	\$ 9,86	\$ 42,30	\$ 58,53	\$ 69,02
C	\$ 725,40	\$ 259,96	\$ 725,40	\$ 217,40	\$ 183,21	\$ 129,21
D	\$ 104,55	\$ 106,13	\$ 27,08	\$ 52,19	\$ 25,49	\$ 57,68
E	\$ 185,71	\$ 228,37	\$ 80,00	\$ 167,47	\$ 222,14	\$ 148,58
H	\$ 411,79	\$ 158,12	\$ 373,58	\$ 87,36	\$ 299,74	\$ 42,46

**Nota Fuente:** Elaboración propia

Considerando el MSD expuesto precedentemente, la pérdida  $L$  por línea, mes y escenario

refleja el nivel de robustez del servicio. El promedio del Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) para las líneas A, B y D no supera los \$ 100, siendo \$ 49,72, \$ 51,18 y \$ 62,19 respectivamente. En cambio, las pérdidas experimentadas en las líneas C, E y H son notoriamente mayores, ya que el promedio  $L$  en cada caso alcanza los \$ 373,43, \$ 172,04 y \$ 228,34. Por lo tanto, los pasajeros de dichas líneas acceden a un servicio mucho más deficiente y costoso.

**Análisis de resultados**

Las Figuras 30 y 31 reflejan el costo  $L$  en que deben incurrir los pasajeros e indirectamente, la sociedad, al registrarse desviaciones respecto al target  $m$  equivalente a  $3 p/m^2$ . Para ello, nuevamente se consideró el criterio de agrupar los resultados en período vacacional (promedio de Enero y Febrero) y Marzo 2017. Los CNCC están segmentados por escenario y por línea.

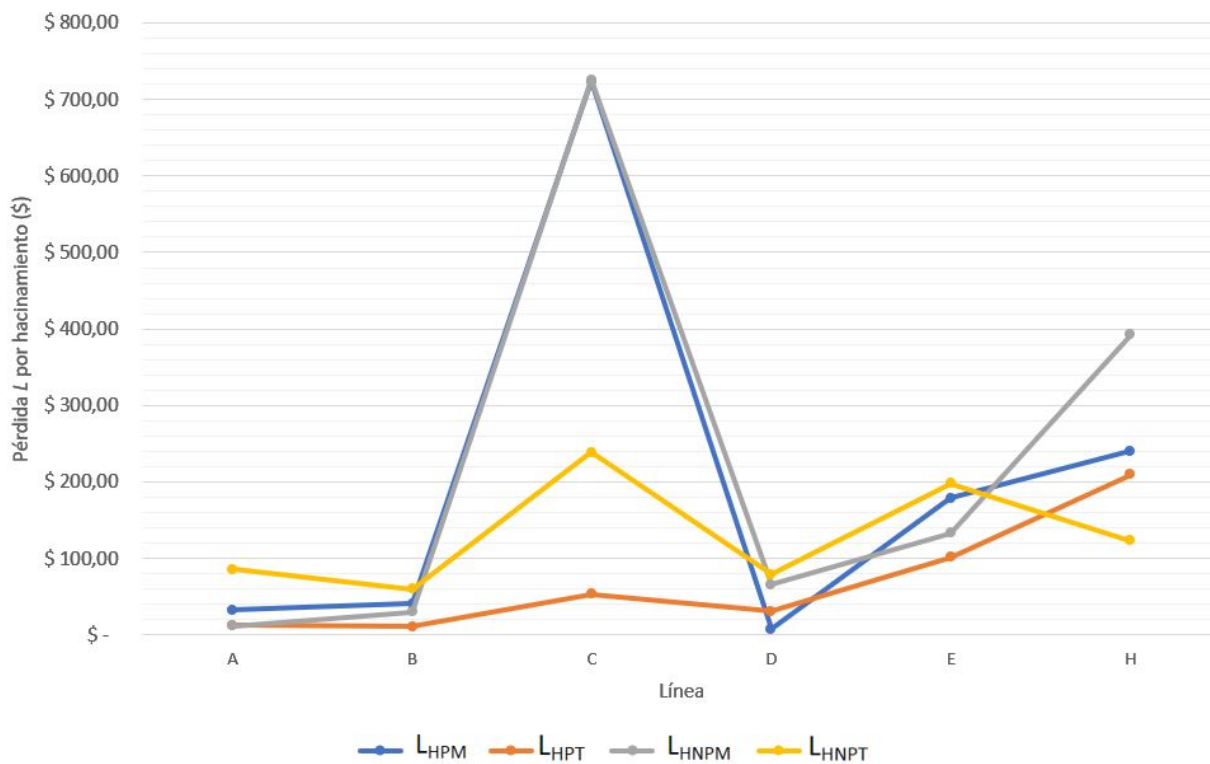


Figura 30.

$L$  para Enero y Febrero 2017, segmentado por línea y por escenario. **Nota** Fuente: Elaboración propia

En la Figura 30, se destacan, ante todo, las pérdidas por el cierre de la Estación Constitución. Asimismo, las líneas A, B y D presentan costos  $L$  menores a \$ 100 en todos los intervalos de tiempo; sin embargo, los mayores CNCC se detectaron durante la Hora No Pico Tarde por la reducida cantidad de pasajeros.

Asimismo, pueden distinguirse algunas tendencias respecto a qué escenario genera mayores costos, a pesar de cierta disparidad en los resultados entre líneas. Se afirma que, excepto en la



línea D, la Hora Pico Mañana es el segundo intervalo de tiempo que produce el mayor  $L$  y, en contraposición, la Hora Pico Tarde demuestra los costos más acotados por línea. Una vez más, estos resultados confirman que los usuarios poseen mayor flexibilidad de horarios cuando emprenden sus viajes de regreso a la tarde, por lo que el hacinamiento y sus costos relacionados durante HPT son menores que durante la mañana (Transport Committee, 2003).

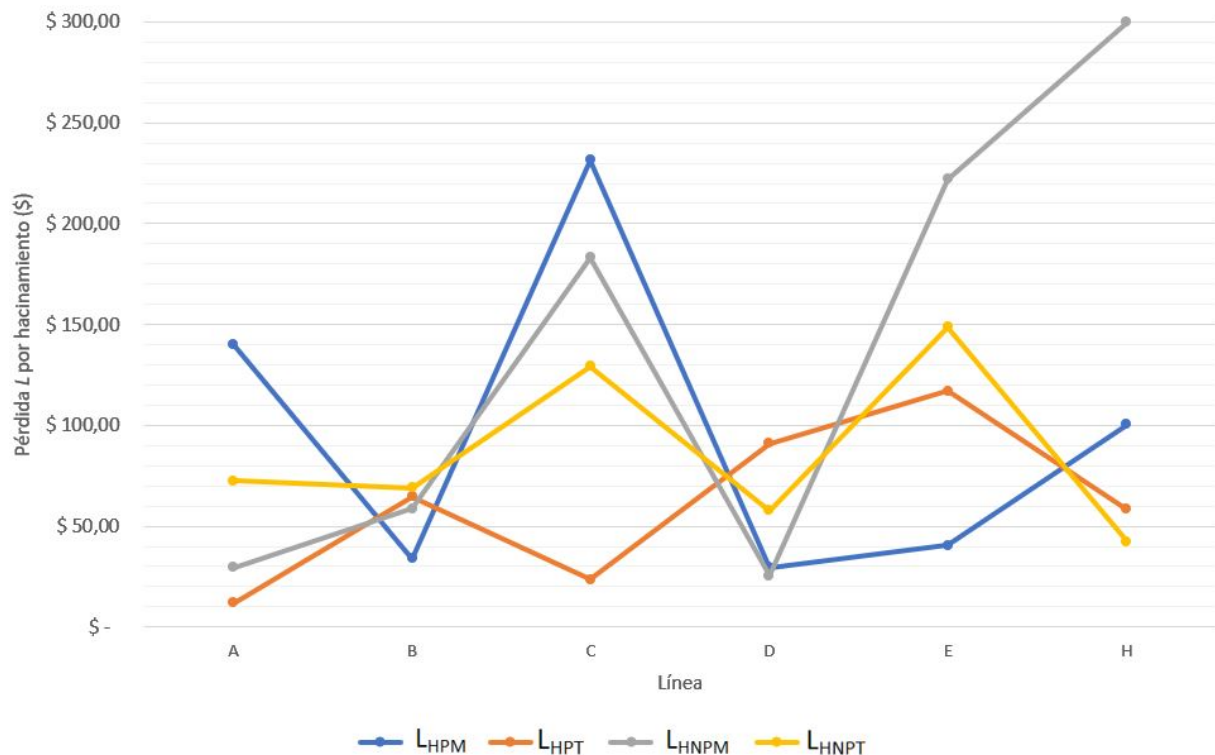


Figura 31.

$L$  para Marzo 2017, segmentado por línea y por escenario. **Nota** Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la Figura 31 no posee situaciones extraordinarias como las obras en la línea C ni una menor cantidad de usuarios por el período vacacional, por lo constituye una imagen más representativa del costo por hacinamiento. La mayor pérdida  $L$  se produjo durante los siguientes intervalos:

- HPM: para las líneas A y C
- HPT: para la línea D
- HNPM: para la línea E y H
- HNPT: para las líneas B

En todos los casos de Hora Pico, las pérdidas están dadas por la superación del límite  $p/m^2$ , mientras que durante las Horas No Pico, sucede el efecto contrario: la escasez de pasajeros impide llegar al target  $m$ . En un primer análisis, puede considerarse que la subutilización mencionada en el último caso sería un beneficio para los usuarios y un costo sobre el prestador del servicio. No obstante, la Función de Pérdida de Calidad de Taguchi (QLF) considera que cualquier desvío

respecto al target genera una pérdida en la sociedad, incluso cuando represente, a priori, un mejor servicio (los pasajeros pueden viajar sentados). Esto se debe a que no es viable económicamente para la compañía prestadora que el nivel de pasajeros pagos se ubique constantemente por debajo de los  $3 p/m^2$ , derivando en que los beneficios a corto plazo para los usuarios puedan traducirse en pérdidas a mediano y largo plazo (falta de inversión, disminución de frecuencias, mayor hacinamiento en horas pico, etc). Es decir, el resultado final no será soportado por el prestador, sino por el pasajero que accederá a un servicio de peor calidad como resultado.

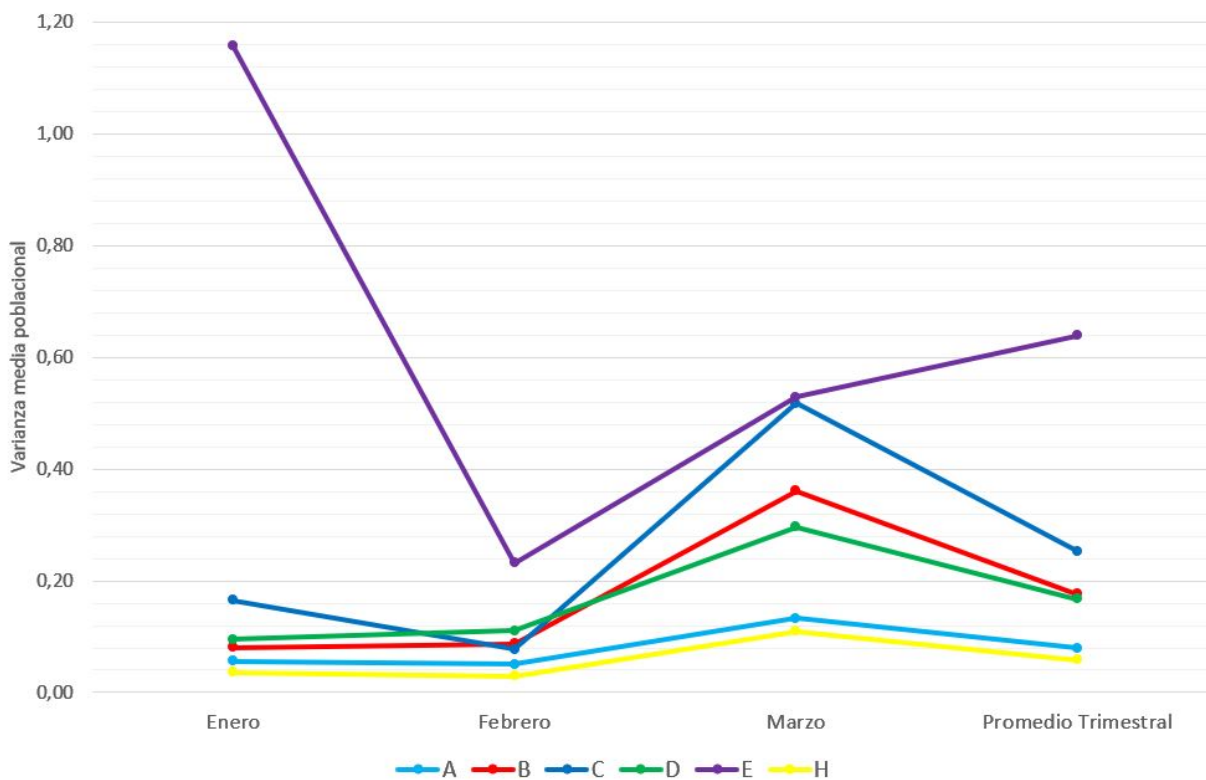


Figura 32.

$\sigma^2$  para Enero, Febrero y Marzo 2017 y el promedio  $\bar{\sigma}^2$  correspondiente al trimestre. **Nota** Fuente: Elaboración propia

Tal como se comentó previamente, la composición de las pérdidas  $L$  puede significar un servicio más o menos robusto. Si el Error Cuadrático Medio está mayormente causado por la media  $\bar{y}$ , entonces el servicio será más robusto, porque la discrepancia de la media respecto al target  $m$  posiblemente se deba a una sola causa (Taguchi & Clausing, 1990). Sin embargo, toda vez que  $\sigma^2$  sea significativo, el valor  $p/m^2$  será impredecible y el ajuste respecto al target  $m$  será más difícil de lograr, ya que las causas de variación son múltiples (Taguchi & Clausing, 1990). Por lo tanto, el servicio será menos robusto.

En este sentido, la Figura 32 ilustra la variabilidad  $\sigma^2$  en el servicio por línea y mes, así como el promedio trimestral. Esto permite identificar a la línea E como la menos robusta de toda la red, ya que no solo posee la mayor varianza media poblacional sino que además lidera mes a mes. Por

---

otro lado, se aprecia que la Línea H presenta la variabilidad más acotada de la red, dando cuenta que el considerable MSD que demuestra en todos los escenarios se debe a su  $\bar{y}$ ; es decir, si bien la línea H genera importantes pérdidas  $L$  para el usuario, la disminución de los mismos es más sencilla que en el caso de la Línea E.

Por lo tanto, la pérdida que experimentará un usuario como consecuencia del hacinamiento dependerá de la combinación escenario/línea que elija. Por ejemplo, si viaja en la línea A durante HPM, incurrirá en una pérdida monetaria de \$ 139,86 por viaje; es decir, experimentará un hacinamiento de  $4,27 p/m^2$ , lo cual supera incluso el límite funcional respecto al servicio. Los pasajeros expuestos al hacinamiento experimentarán sensaciones de estrés y ansiedad, así como verán incrementarse su tiempo de viaje y la probabilidad de accidentes o descompensaciones de salud (Tirachini y col., 2013).

## Conclusiones

La determinación de los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) producidos por el hacinamiento requirió la utilización del Modelo Nominal Mejor de la Función de Pérdida de Calidad de Taguchi (QLF), ya que el target  $m$  debe ser distinto a cero (Ecuación 12). Este último debe minimizar los costos a la sociedad, ubicándose en el punto de equilibrio entre los Costos de Producción del prestador (a mayor hacinamiento, menores costos por economías de escala) y los costos de calidad para el usuario (a menos hacinamiento, menores costos por más comodidad). Por lo tanto, el target  $m$  se ubicó en  $3 p/m^2$ .

La QLF posee dos componentes principales: el Error Cuadrático Medio (MSD), que indica la robustez del servicio, y la constante  $k$  que permite convertir los desvíos respecto al target  $m$  en pérdidas monetarias para los pasajeros. Respecto al primero, se obtuvo considerando la media y la varianza poblacional del hacinamiento por línea para cuatro escenarios, los cuales representan intervalos de tiempo para la Hora Pico (de 8 a 9 a.m. y de 6 a 7 p.m.) y para la Hora No Pico (de 10 a 11 a.m. y de 8 a 9 p.m.).

Por otro lado, el factor de monetización  $k$  representa la pérdida que genera una unidad de desvío respecto al target  $m$ . Dado que el punto de no funcionalidad para más del 50% de los pasajeros es un hacinamiento de  $4 p/m^2$  y que la desutilidad del usuario está representada por el VATV y su multiplicador de hacinamiento correspondiente, entonces la Ecuación 15 arroja que  $k$  es igual a \$ 80,69. Es decir, una unidad de desvío respecto al target  $m$  genera costos para cada pasajeros equivalentes a dicho valor.

La aplicación de la Función de Pérdida de Calidad de Taguchi permitió obtener, entonces, la pérdida  $L$  por pasajero para distintas combinaciones línea/escenario. Durante Marzo 2017, los pasajeros de las líneas C, E y H fueron los más perjudicados, especialmente durante la Hora Pico

Mañana (8 a 9 a.m.) para la primera y la Hora No Pico Mañana (10 a 11 a.m.) para la segunda y tercera. En el caso de la línea C, el alto hacinamiento promedio ( $4,24 p/m^2$ ) y la marcada variabilidad ( $\sigma^2 = 1,32$ ) produjo pérdidas  $L_{HPM}$  de \$ 231,33 por día para el pasajero. En cambio, la pérdida  $L_{HNPM}$  de la línea E y la H se explica, en gran medida, por la subutilización del servicio, ya que el promedio de densidad no supera  $1,5 p/m^2$  en ambos casos. Si bien una subutilización puede generar mayor comodidad a corto plazo para los usuarios (y por lo tanto, menores costos), Taguchi (2005) afirma que cualquier desvío respecto a  $m$  implica una pérdida para la sociedad. Si la escasez de pasajeros se mantiene a lo largo del tiempo, la inviabilidad económica de esta situación para el prestador derivaría en un continuo deterioro del servicio, ya sea por la menor frecuencia resultante, la falta de mantenimiento del material rodante y las instalaciones de las líneas subutilizadas, etc. En este sentido, no sorprende que la Línea E haya incrementado paulatinamente la cantidad de interrupciones por motivos técnicos y operativos (Tabla 19) desde 2012 hasta 2016, demostrando así falta de inversión.

Sin embargo, un mismo  $L$  puede significar una distinta robustez del servicio. La línea E posee el mayor  $\bar{\sigma}^2$  de toda la red, lo cual implica que tiene la mayor variabilidad y, por lo tanto, la menor robustez del servicio. Es decir, el desempeño respecto al hacinamiento es impredecible y la disminución de los CNCC es más compleja porque responde a varias causas. En cambio, la línea H también demuestra importantes costos para los usuarios pero su  $\sigma^2$  es el menor de la red. En consecuencia, demuestra mayor robustez porque la predecibilidad de sus variaciones permite simplificar el ajuste de  $\bar{y}$  respecto al target  $m$ .

Finalmente, el análisis de las pérdidas por Escenario no permite atribuir la mayor cantidad de CNCC a un solo intervalo de tiempo; la incidencia del mismo depende de cada línea (Figura 31). Por ejemplo, en Marzo 2017, la Hora Pico Mañana (8 a 9 a.m.) genera la mayor pérdida  $L$  en las líneas A y C. En cambio, los usuarios de la línea D incurren en mayores costos durante la Hora Pico Tarde, mientras que en las líneas E y H se registra durante la Hora No Pico Mañana y en la línea B durante la Hora No Pico Tarde. El significativo impacto en los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) de las Horas No Pico demuestra, una vez más, la importancia de ajustarse al target  $m$  si se quieren disminuir las externalidades negativas generadas sobre la sociedad. Es decir, la provisión de un servicio por debajo del target, lejos de beneficiar a los usuarios, termina por generar importantes costos sobre la sociedad a largo plazo.

## CAPÍTULO IX

### CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los Capítulos VII y VIII han permitido conocer la pérdida  $L$  sobre la sociedad resultante de la existencia de interrupciones y el desvío respecto al target del hacinamiento. Sin embargo, el verdadero impacto de dichos Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) solo puede conocerse si se analiza en contexto.

Para medir el impacto sobre un pasajero tipo, se calculó qué sucedería si existiese una interrupción del Escenario 1 durante la Hora Pico Mañana y Hora Pico Tarde y se la comparó contra una situación sin interrupción. Siendo  $L_1$  el costo por interrupciones regulares, se tuvieron en cuenta cuatro combinaciones posibles:

1.  $L_{HPM} \cap \nexists L_1$
2.  $L_{HPM} \cap \exists L_1$
3.  $L_{HPT} \cap \nexists L_1$
4.  $L_{HPT} \cap \exists L_1$

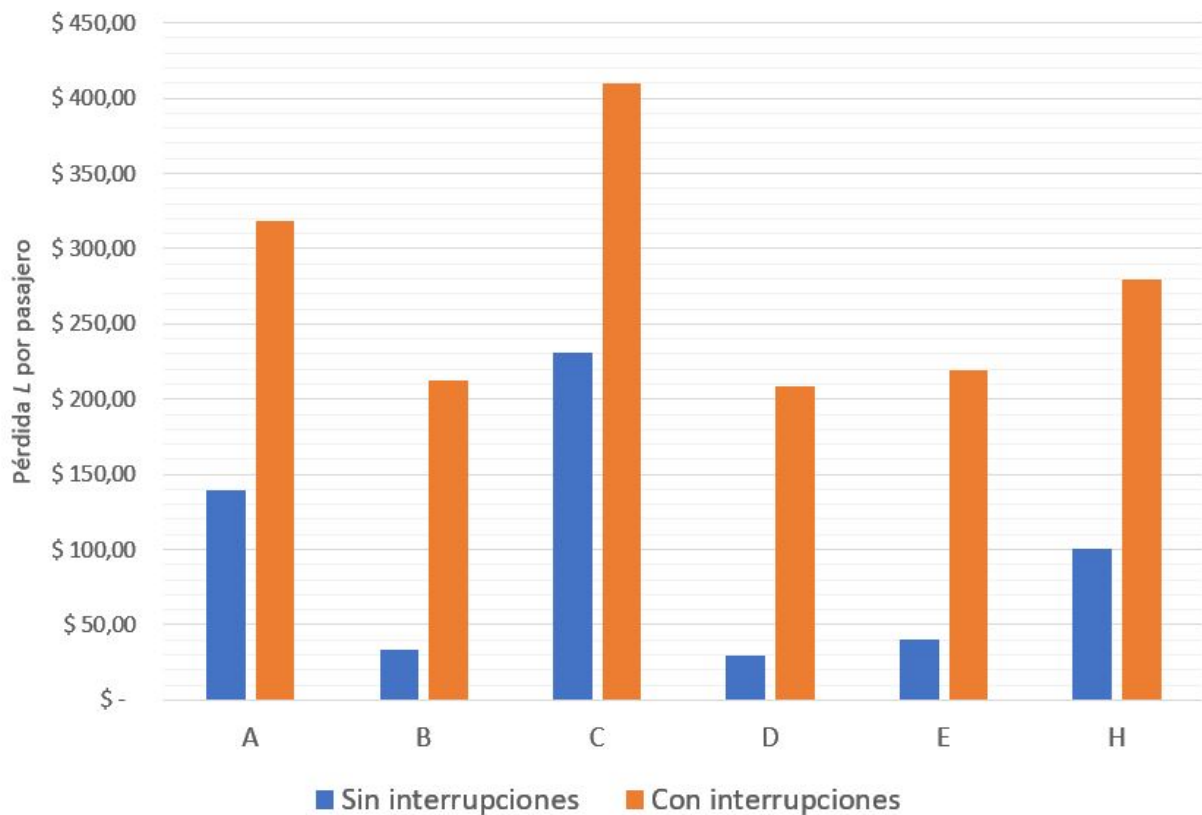


Figura 33.

Pérdida  $L$  experimentada por un pasajero durante la Hora Pico Mañana en escenarios con y sin interrupciones (Marzo 2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia.

La combinación franja horaria/interrupciones regulares se seleccionó por su representatividad; por un lado, las interrupciones regulares constituyen el 80 % del total registrado. Por otro lado, el 54 % de los pasajeros frecuentes viaja durante la Hora Pico Mañana y la Hora Pico Tarde (Isonomía, 2017).

En la Figura 33, se analiza el incremento en las pérdidas  $L$  por la existencia de interrupciones durante el hacinamiento típico de la HPM. En 2017, el costo por pasajero y viaje por interrupciones del tipo 1 (operativas, instalaciones, coche, etc) fue de \$ 178,72 (Tabla 12), a lo cual deben sumarse las pérdidas por el hacinamiento experimentado por línea. Como se puede apreciar, es notorio el incremento en los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por la existencia de interrupciones, con especial énfasis en las líneas B, D y E. No obstante, es esperable que el costo real sea mucho mayor, ya que el criterio conservador aquí considerado no tiene en cuenta el aumento del hacinamiento producto de sucesivas demoras. Tal como se comentó previamente, la existencia de interrupciones provoca mayor densidad de pasajeros, lo cual a su vez dificulta el ascenso y descenso de la formación, con el consecuente incremento en los tiempos de espera (Tirachini y col., 2013).

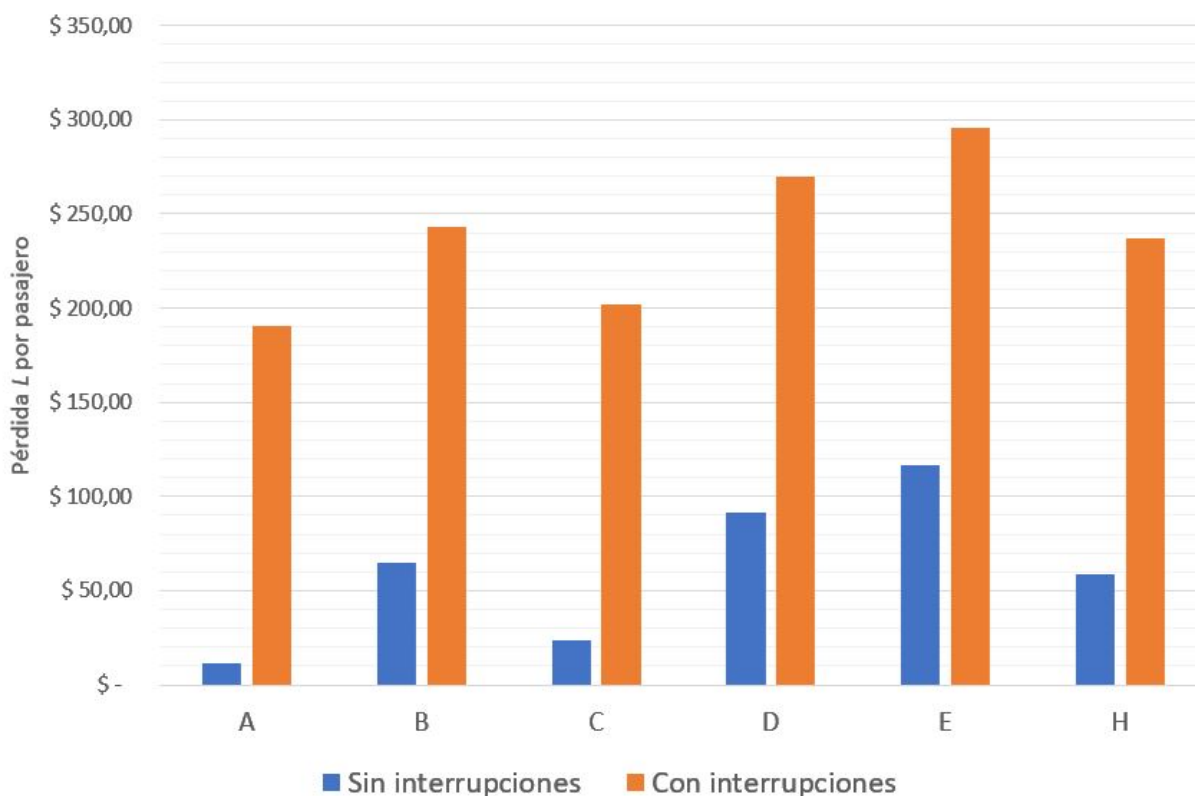


Figura 34.

Pérdida  $L$  experimentada por un pasajero durante la Hora Pico Tarde en escenarios con y sin interrupciones (Marzo 2017). **Nota** Fuente: Elaboración propia

Los resultados son similares para la Figura 34, la cual ilustra los escenarios con y sin inte-

rumpciones durante la Hora Pico Tarde. Si bien los costos totales son menores (excepto en el caso de las líneas D y E, cuyos pasajeros tienen mayor nivel de pérdidas durante la tarde), el impacto de las demoras es significativo en todos los casos.

Si bien el costo de las interrupciones es relevante durante ambas franjas horarias, ¿cuál es la probabilidad de experimentar una demora? Si se considera que un pasajero típico hace 120 viajes por trimestre (viaja ida y vuelta al trabajo cinco veces a la semana durante Hora Pico) y la cantidad de eventos de demora registrados en el primer trimestre del 2017, se obtendrá la probabilidad de viajes con interrupciones que experimentó el usuario. En la Tabla 36, dicha probabilidad es segmentada por escenario, es decir, agrupando a las interrupciones según tres causas: regulares (operativas, instalaciones, material rodante, etc), por conflictos gremiales y por fuerza mayor.

Tabla 36

*Frecuencia y probabilidad de experimentar una interrupción en un viaje durante Hora Pico (8 a 9 a.m. y 6 a 7 p.m.) durante el primer trimestre del 2017, segmentado por línea y por Escenario*

Línea	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
A	0	-	1	0,8 %	-	-
B	6	5 %	1	0,8 %	-	-
C	6	5 %	3	2,5 %	-	-
D	13	10,8 %	1	0,8 %	-	-
E	15	12,5 %	7	5,8 %	-	-
H	2	1,7 %	1	0,8 %	-	-

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Entonces, si analizamos los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) durante el primer trimestre del 2017 considerando el hacinamiento promedio y la probabilidad de experimentar una interrupción, ¿qué porcentaje representa del ingreso medio mensual de un pasajero típico?

Para determinar el impacto sobre los usuarios con residencia en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en el Gran Buenos Aires, se utilizaron los cuadros de distribución del ingreso por aglomerado urbano derivados de la Encuesta Permanente de Hogares para el Primer Trimestre del 2017 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017d). Allí se describe que el ingreso medio por hogar en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires fue \$ 31.031 mensuales, es decir, \$ 1.551,55 por día hábil. En cambio, el ingreso medio por hogar en GBA fue \$ 22.276 o \$ 1.113,8 por día hábil.

Si los pasajeros pudiesen, durante Hora Pico Mañana y Hora Pico Tarde, viajar sin experimentar demoras, deberían incurrir solo en los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) generados por el hacinamiento. Estos equivalen, para un viaje ida y vuelta, a una pérdida  $L$  prome-

dio de \$ 157,01 diarios, valor que fluctúa según la línea (ver Figuras 33 y 34). Es decir, la pérdida  $L$  en un contexto sin demoras representa el 10 % de los ingresos medios de un hogar porteño y 13 % para un hogar del GBA.

No obstante, las interrupciones regulares deben ser consideradas, ya que si bien no son experimentadas en cada viaje, su existencia eventual genera importantes pérdidas para los pasajeros y la sociedad, tal como se desprende de las Figuras 33 y 34. Asimismo, en la Tabla 36 se visualiza que la probabilidad de ocurrencia de interrupciones es relevante, especialmente en las líneas D y E (la línea PM fue excluida del análisis).

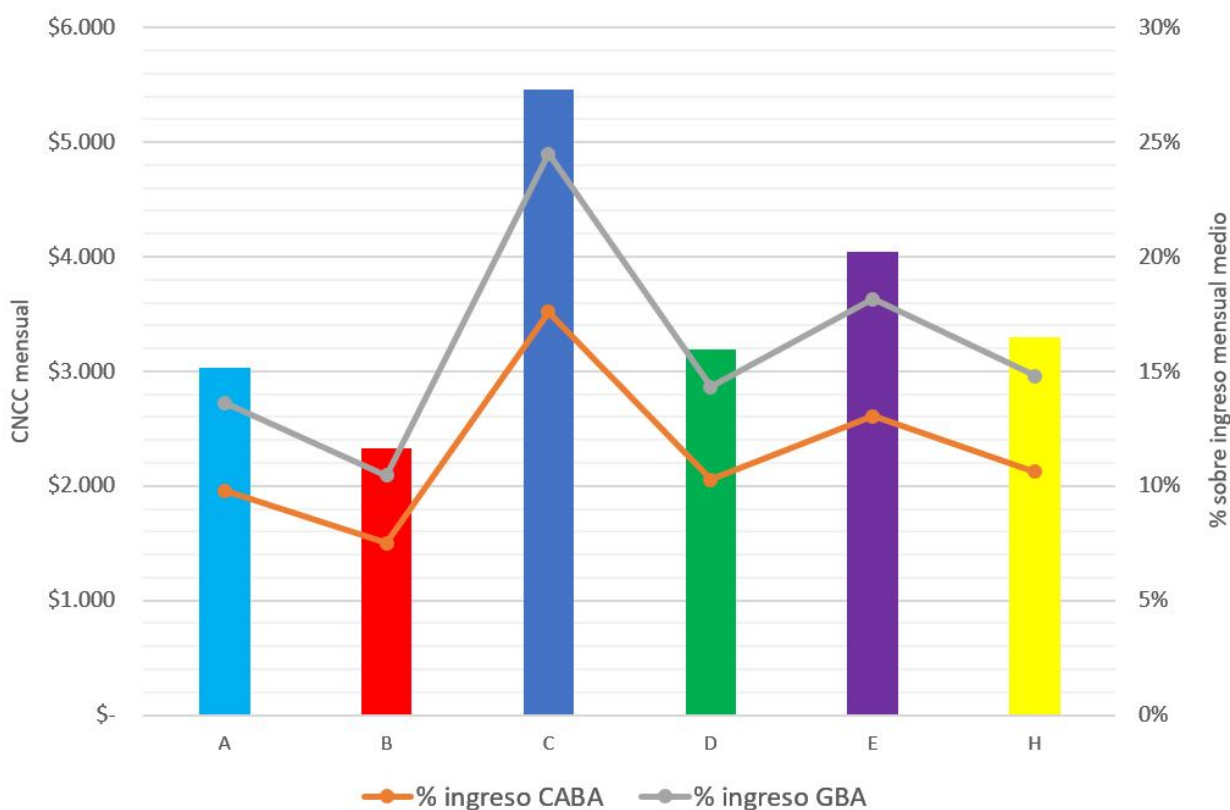


Figura 35.

CNCC mensual por línea durante Hora Pico y su impacto porcentual en los ingresos mensuales medios por hogar del 2017 en Ciudad Autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires. **Nota** Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, si se suma la pérdida  $L_1$  probable por interrupciones regulares a aquellas percibidas por hacinamiento, se obtienen los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) mensuales reflejados en la Figura 35 y su impacto porcentual en el ingreso medio de los hogares. Se observa que los pasajeros de la línea C deben hacer frente a las mayores pérdidas  $L$  de la Red de Subterráneos, asumiendo costos por casi \$ 5.500 mensuales. En cambio, la línea B genera los menores costos para sus usuarios, ya que totalizan poco menos de \$ 2.400 por mes.

El impacto de dichas pérdidas sobre los ingresos mensuales por hogar depende de la resi-



---

dencia del pasajero. En promedio, el ingreso por hogar del Gran Buenos Aires es menor que el de CABA (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017d), por lo que el impacto porcentual es mayor para los primeros en todas las líneas. Cabe destacar que, si bien los residentes de CABA representan al 65 % de los pasajeros frecuentes, dicha proporción se invierte en el caso de los usuarios de la línea C, donde el 61 % viven en partidos del GBA (Isonomía, 2017). Es decir, los CNCC para el 61 % de los pasajeros de la línea C equivalen al 24,5 % del ingreso de sus hogares. Por otro lado, el resto de las líneas tienen amplia mayoría de pasajeros provenientes de CABA (ver Tabla 8), quienes incurren en pérdidas  $L$  menores al 18 % de sus ingresos mensuales.

El análisis de, por un lado, las Figuras 33 y 34, y por el otro, de la Tabla 36, permite entender cuál de las dos características de calidad (hacinamiento o interrupciones) es la principal responsable de los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) registrados en cada línea. Por ejemplo, en el caso de la línea C, el servicio es robusto respecto a la probabilidad de interrupciones, siendo 5 % durante Hora Pico. Sin embargo, el importante hacinamiento (4,24  $p/m^2$  durante HPM y 3,16  $p/m^2$  durante HPT) explica la pérdida  $L$  sobre los usuarios. En cambio, las líneas D y E representan el fenómeno exactamente opuesto: el costo por hacinamiento es relativamente acotado pero la considerable probabilidad de demoras regulares explican los altos Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC). Mayores detalles sobre el impacto de cada característica de calidad en la formación de pérdidas  $L$  puede encontrarse en la Tabla D2.

A continuación, se resumen las principales conclusiones del análisis de los CNCC en Hora Pico sobre el ingreso medio de un pasajero frecuente:

1. El mayor nivel de CNCC es generado por:
  - a) Línea C: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 5.455,59
  - b) Línea E: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 4.042,27
  - c) Línea H: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 3.293,63
2. La línea C produce el mayor nivel de CNCC durante Hora Pico, generando costos mensuales para sus usuarios equivalentes al 17,6 % del ingreso medio mensual de un hogar en CABA y 24,5 % de un hogar del GBA.
3. El menor nivel de CNCC es generado por:
  - a) Línea B: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 2.326,84
  - b) Línea A: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 3.034,65
  - c) Línea D: pérdidas  $L$  mensuales de \$ 3.189,82
4. La pérdida  $L$  producida por la línea B equivale al 9,8 % del ingreso de un hogar porteño y al 10,4 % de un hogar del Gran Buenos Aires.

5. Si no existiesen interrupciones, la Línea C seguiría siendo la que mayor pérdida  $L$  generaría sobre sus pasajeros en Hora Pico Mañana, mientras que la línea E tiene los mayores CNCC por hacinamiento durante la Hora Pico Tarde.
6. La alta probabilidad de interrupciones regulares durante Hora Pico en la línea D (10,8 %) explica por qué es la cuarta línea que mayores costos genera sobre sus usuarios. No obstante, es la línea E posee la mayor probabilidad de interrupciones luego del PM (12,5 %).
7. La línea A posee el servicio más robusto desde el punto de vista de las demoras, ya que no registró interrupciones regulares durante el primer trimestre del 2017.

---

## CAPÍTULO X

### CONCLUSIONES FINALES

En la presente tesis, se desarrolló con éxito una metodología sustentada en la Función de Pérdida de Taguchi para medir eficientemente los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC), provocados por las fallas de calidad en el servicio de transporte público de subterráneos en Buenos Aires. A partir de la selección de las dos características de calidad más importantes para los pasajeros (interrupciones y hacinamiento), fue posible construir una Función de Pérdida de Calidad para cada una.

La riqueza de la Función de Pérdida de Calidad se fundamenta en su capacidad para transformar el incumplimiento de un objetivo o target de desempeño (por ejemplo, nivel de hacinamiento) en un costo monetario para los clientes e, indirectamente, para la sociedad en su conjunto. En este sentido, Taguchi afirmó que la Calidad es la pérdida que un producto o servicio genera en la sociedad por no cumplir plenamente con sus características funcionales. Si el subterráneo no logra garantizar, con constancia y previsibilidad, determinados niveles de servicio, sus pasajeros deberán incurrir en diversos costos para hacer frente a las consecuencias. Por ejemplo, un elevado nivel de hacinamiento (expresado como pasajeros parados por  $m^2$ ) genera incomodidad, sensaciones de pérdida de privacidad, ansiedad y hasta descompensaciones. Además, la existencia de interrupciones no solo disminuye el tiempo libre de los pasajeros y promueve la utilización de medios de transporte sustitutos, sino que también incrementa el hacinamiento, y esto, a su vez, aumenta el tiempo de ascenso y descenso de una formación. En resumen, las fallas en ambas características de calidad se retroalimentan y potencian el costo para la sociedad.

Las interrupciones pueden pertenecer a tres escenarios según su causa. Las interrupciones regulares (Escenario 1) son aquellas cuya existencia es completa responsabilidad del prestador del servicio. Se producen como resultado de problemas operativos, en instalaciones, en material rodante, en seguridad (delitos o accidentes) y en la salud de los pasajeros. En cambio, el Escenario 2 está constituido por las interrupciones derivadas de conflictos gremiales; en este caso, el prestador del servicio es parcialmente responsable, ya que es parte de un conflicto con una parte interesada (el sindicato). Finalmente, el Escenario 3 contiene a las interrupciones producidas por motivos de fuerza mayor, es decir, que no pueden ser previstas por el prestador. Entre otros, encontramos aquí interrupciones por negligencia externa o por una manifestación ajena al subterráneo.

La pérdida monetaria que las interrupciones provocan en los usuarios del subterráneo depende de la causa de las mismas, dado que la robustez del servicio es diferente para los tres escenarios. Se halló que, para el Escenario 1, la pérdida  $L_1$  en 2017 asciende a \$ 178,72 por viaje con interrupción. En cambio, cada interrupción por conflicto gremial (Escenario 2) provoca pérdidas  $L_2$

equivalentes a \$ 1.778,96 por viaje, ya que estas interrupciones poseen una media y una varianza de duración en tiempo mucho mayor que en el resto de los escenarios. Por lo tanto, el Error Cuadrático Medio (MSD) generado es también sensiblemente más relevante, lo cual deriva en un servicio menos robusto. Finalmente, las interrupciones originadas por fuerza mayor son las menos costosas, ya que  $L_3$  en 2017 es igual a \$ 119,28.

Si bien las interrupciones del Escenario 2 son, decididamente, las más costosas para el pasajero y la sociedad, tienen menor probabilidad de ocurrencia que las interrupciones regulares. En el período estudiado (2012-primer trimestre 2017), el 81,3 % de los eventos de interrupciones se deben a causas del Escenario 1, el 10,6 % a conflictos gremiales y solo el 8,1 % a fuerza mayor. A pesar del alto costo generado por las interrupciones (en cualquiera de sus tres escenarios), se descubrió que la probabilidad de ocurrencia es reducida. En el caso del Escenario 1 (el más frecuente), la probabilidad promedio de experimentar una interrupción regular durante un viaje de Hora Pico es 5,8 % (excluyendo al PM), aunque el servicio es mucho menos robusto en las líneas D y E. En estas dos líneas, la probabilidad de experimentar una pérdida  $L_1$  es 10,8 % y 12,5 % respectivamente. En contraposición, las líneas A, C y H poseen el servicio más robusto, ya que dicha probabilidad es 5 % para las dos primeras líneas y 1,7 % para la línea H durante el primer trimestre del 2017.

Por otro lado, el hacinamiento fue medido durante cuatro intervalos de tiempo para el primer trimestre del 2017: Hora Pico Mañana, Hora Pico Tarde, Hora No Pico Mañana y Hora No Pico Tarde. Expresado como la densidad de pasajeros parados ( $p/m^2$ ), el target de desempeño de este aspecto del servicio se fijó en 3  $p/m^2$ , ya que permite minimizar los costos para el prestador mientras mantiene un nivel de satisfacción aceptable para el usuario. Durante la Hora Pico, se halló que las mayores pérdidas  $L$  por viaje fueron experimentadas por los usuarios de la línea C durante la mañana, quienes tuvieron que incurrir en costos por viaje equivalentes a \$ 231,33 dado un hacinamiento promedio de 4,24  $p/m^2$  y una varianza considerable. Asimismo, la línea A posee una pérdida  $L$  durante la HPM de \$ 139,86 por viaje. El costo del alto promedio de hacinamiento (4,27  $p/m^2$ ) es compensado por una menor variabilidad, por lo que el MSD y la pérdida  $L$  no son tan grandes como en la línea C. Durante la tarde de la Hora Pico, en cambio, los mayores Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) se experimentan en las líneas E y D. Si bien la línea E posee un hacinamiento relativamente cercano al target (2,78  $p/m^2$ ), la escasa robustez del servicio se refleja en su alta varianza, lo cual termina provocando pérdidas  $L$  equivalentes a \$ 117 por viaje durante Marzo 2017. En cambio, se registró un promedio de 3,76  $p/m^2$  en la línea D, lo que constituye el hacinamiento más alto del intervalo; esto se traduce en pérdidas  $L$  de \$ 91,12.

Vale comentar que, durante la Hora No Pico, los desvíos respecto al target de hacinamiento también generan un alto costo para los clientes y la sociedad por la subutilización del servicio.

---

Es decir, se registran, en todas las líneas, valores  $p/m^2$  menores al target, especialmente en las líneas C, E y H. Si bien esto puede interpretarse como un beneficio para los pasajeros (quienes efectivamente viajan más cómodos en dichas condiciones), no es económicamente viable para la prestadora del servicio, derivando en que los beneficios a corto plazo se traduzcan en pérdidas a mediano y largo plazo; el prestador tendrá menores incentivos para realizar inversiones en las instalaciones, mejorar la frecuencia, priorizar el mantenimiento de su material rodante, etc. Como resultado, el pasajero tendrá acceso a un servicio de peor calidad. Esto se verifica, por ejemplo, en el constante deterioro del servicio de la línea E.

Si se consideran los Costos de No Calidad sobre los Clientes (CNCC) por hacinamiento y la probabilidad de interrupciones, se concluye que un usuario frecuente residente en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires debe incurrir en costos equivalentes, en promedio, al 11,5 % de sus ingresos mensuales. Los mayores costos son experimentados por los pasajeros de la línea C, cuyas pérdidas mensuales ascienden a \$ 5.455,59 o 17,6 % de sus ingresos. En este caso, la mayor fuente de CNCC está dada por el alto hacinamiento, ya que la probabilidad de interrupciones es reducida (5 %). Mientras que las pérdidas  $L$  también son relevantes en las líneas D, E y H (siendo 10,3 %, 13 % y 10,6 % de los ingresos mensuales respectivamente), la principal causa para los dos primeros reside en la importante frecuencia de interrupciones. Por otro lado, el servicio de subterráneos prueba ser especialmente más robusto para la línea B (7,5 %) y la línea A (9,8 %).

En conclusión, la aplicación de la Función de Pérdida de Taguchi permitió medir exitosamente las pérdidas en que deben incurrir los pasajeros del subterráneo (y la sociedad en su conjunto) por las fallas en el desempeño del mismo. Asimismo, hizo posible visualizar la robustez del servicio y la comparación del impacto monetario que tienen las distintas características de calidad sobre los ingresos mensuales de los pasajeros (por ejemplo, interrupciones contra hacinamiento). Por lo tanto, permite incluso priorizar las acciones de mejora sobre el desempeño de la característica de calidad más relevante por línea. De esta forma, la pérdida  $L$  resultante tiene el potencial de representar un indicador de gestión para el prestador del servicio, especialmente cuando se considera la importancia estratégica del subterráneo y la satisfacción de sus pasajeros como parte del plan integral del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires para incentivar el transporte público por sobre el automóvil.



---

## REFERENCIAS

- Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires. (2013). *Informe Final de Auditoría - Proyecto Nro 1.13.15, Ley 4472*. Recuperado desde <http://lppargentina.org.ar/subtedata/wp-content/uploads/2017/07/Auditoria-AGCBA-Ley4472.pdf>
- Belenky, P. (2011). *Revised Departmental Guidance on Valuation of Travel Time in Economic Analysis*. U.S. Department of Transportation. Washington, DC. Recuperado desde [https://www.transportation.gov/sites/dot.dev/files/docs/vot%7B%5C\\_%7Dguidance%7B%5C\\_%7D092811c.pdf](https://www.transportation.gov/sites/dot.dev/files/docs/vot%7B%5C_%7Dguidance%7B%5C_%7D092811c.pdf)
- Björklund, G. & Swärdh, J.-E. (2015). *Valuing in-vehicle comfort and crowding reduction in public transport*, Centre for Transport Studies. Stockholm.
- Boletín Oficial de la República Argentina. (2014). Código Civil y Comercial de la Nación - Ley 26.994. Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. Recuperado desde [www.boletinoficial.gob.ar](http://www.boletinoficial.gob.ar)
- Chao-Ton, S. (2013). *Quality Engineering: Off-Line Methods and Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press Book.
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2015). *Informe Estadístico Anual 2015: Red Ferroviaria de Pasajeros del Área Metropolitana de Buenos Aires*. CNRT. Recuperado desde [https://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/Info.Est.2015%7B%5C\\_%7DRed%7B%5C\\_%7DFFCC%7B%5C\\_%7DAMBA.Pas%7B%5C\\_%7D00-RED%7B%5C\\_%7D2.pdf](https://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/Info.Est.2015%7B%5C_%7DRed%7B%5C_%7DFFCC%7B%5C_%7DAMBA.Pas%7B%5C_%7D00-RED%7B%5C_%7D2.pdf)
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2016). *Informe Estadístico 2016: Red Ferroviaria de Pasajeros del Área Metropolitana de Buenos Aires*. Comisión Nacional de Regulación del Transporte. Buenos Aires. Recuperado desde [https://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/InfoEst2016%7B%5C\\_%7DFFCCAMBA%7B%5C\\_%7D00-RED%7B%5C\\_%7D0.pdf](https://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/InfoEst2016%7B%5C_%7DFFCCAMBA%7B%5C_%7D00-RED%7B%5C_%7D0.pdf)
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte. (2018). *Estadísticas ferroviarias: Pasajeros pagos transportados 1993-2018*. Ministerio de Transporte de la Nación. Recuperado desde <https://www.argentina.gob.ar/cnrt/estadisticas-ferroviarias>
- Delacámara, G. (2008). *Guía para decisores: Análisis económico de externalidades ambientales*, Naciones Unidas. Santiago de Chile.
- Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires. (2017a). *Estaciones del transporte subterráneo de pasajeros por línea. Ciudad de Buenos Aires. Años 1995/2017*. Ministerio de Economía y Finanzas de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado desde <http://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=57758>

- Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires. (2017b). *Ingresos en la Ciudad de Buenos Aires. 1er. trimestre de 2017*. Ministerio de Hacienda de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado desde [https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/wp-content/uploads/2017/07/ir\\_2017\\_1162.pdf](https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/wp-content/uploads/2017/07/ir_2017_1162.pdf)
- Dirección General de Estadística y Censos de la Ciudad de Buenos Aires. (2017c). *Longitud del transporte subterráneo de pasajeros (metros) por línea. Ciudad de Buenos Aires. Años 1995/2017*. Ministerio de Economía y Finanzas de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado desde <http://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=29207>
- Eboli, L. & Mazzulla, G. (2012). Performance indicators for an objective measure of public transport service quality. *European Transport \ Trasporti Europei*, 51(3), 1-21.
- EnelSubte.com. (2017). La heterogeneidad de la flota del Subte, un problema inquietante. Recuperado el 20 de mayo de 2018, desde <http://enelsubte.com/noticias/la-heterogeneidad-de-la-flota-del-subte-un-problema-inquietante/>
- European Commission. (1995). *A European Quality Promotion Policy or The European way towards Excellence*, European Commission. Bruselas.
- Ganeshan, R., Kulkarni, S., & Boone, T. (2001). Production economics and process quality: A Taguchi perspective. *International Journal of Production Economics*, 71, 343-350.
- Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2018). Plan de material rodante. Recuperado el 16 de mayo de 2018, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/planeseinversiones/plan-de-material-rodante>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2017a). Nuestra Historia. Recuperado el 26 de octubre de 2017, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/nuestra-historia>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2017b). Resultados de la Encuesta sobre el Servicio de Subte. Recuperado el 26 de octubre de 2017, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/resultados-de-la-encuesta>
- Halevy, A. & Naveh, E. (2000). Measuring and reducing the national cost of non-quality. *Total Quality Management*, 11(8), 1095-1110. doi:10.1080/095441200440359
- Harrington, H. J. (1990). *El Coste de la Mala Calidad*. Madrid: Díaz de Santos, S.A.
- Haywood, L. & Koning, M. (2013). *Estimating Crowding Costs in Public Transport*, DIW Berlin. Berlin.
- Haywood, L., Koning, M., & Monchambert, G. (2017). Crowding in public transport: who cares and why? *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier*, 100, 215-227.
- Helbling, T. (2010). What Are Externalities? *Finance & Development*, 47(4), 48-49. Recuperado desde <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2010/12/pdf/basics.pdf>



---

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017a). Base Individual y hogar. Total aglomerados , total interior, aglomerados de más y menos de 500.000 habitantes y cada aglomerado de EPH. Primer trimestre 2017. INDEC. Recuperado desde <https://www.indec.gob.ar/bases-de-datos.asp>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017b). *Encuesta Permanente de Hogares: Diseño de Registro y Estructura para las bases preliminares Hogar y Personas*. INDEC. Buenos Aires. Recuperado desde [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/menusuperior/eph/EPH%7B%5C\\_%7Dregistro%7B%5C\\_%7Dt217.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/menusuperior/eph/EPH%7B%5C_%7Dregistro%7B%5C_%7Dt217.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017c). *Evolución de la distribución del ingreso (EPH) - Primer trimestre de 2017*.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017d). *Hogares según escala de Ingreso Familiar. Ciudad de Buenos Aires y Partidos del GBA. Primer Trimestre de 2017*. Recuperado desde [https://www.indec.gob.ar/nivel4\\_default.asp?id\\_tema\\_1=4&id\\_tema\\_2=31&id\\_tema\\_3=60](https://www.indec.gob.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=4&id_tema_2=31&id_tema_3=60)

Isonomía. (2017). *Encuesta Coincidental Subte - Marzo 2017*. Isonomía Consultores. Buenos Aires.

La Nación. (2017). Feriados 2017 Argentina. Calendario 2017. Recuperado el 25 de junio de 2018, desde <http://servicios.lanacion.com.ar/feriados/2017>

Litman, T. (2017). *Evaluating Public Transit Benefits and Costs*. Victoria Transport Policy Institute. Victoria. Recuperado desde <http://www.vtpi.org/tranben.pdf>

Metro de Madrid. (2017). *Carta de Servicios*. Metro de Madrid. Madrid. Recuperado desde <https://www.metromadrid.es/export/sites/metro/comun/documentos/CartaServicios.pdf>

Metro de Santiago. (2013). *Informe Operacional*. Metro de Santiago. Santiago de Chile. Recuperado desde [https://www.metroantiago.cl/files/informe%7B%5C\\_%7Doperacional%7B%5C\\_%7Dsegundo%7B%5C\\_%7Dsemestre%7B%5C\\_%7D2013.pdf](https://www.metroantiago.cl/files/informe%7B%5C_%7Doperacional%7B%5C_%7Dsegundo%7B%5C_%7Dsemestre%7B%5C_%7D2013.pdf)

Metrovías. (s.f.). Encuesta para mejorar el servicio. Recuperado el 10 de agosto de 2017, desde <https://www.metrovias.com.ar/Subterranos/Home/EncuestaSatisfaccion>

Metrovías. (2016a). *Informe de Gestión Subte y Premetro*. Metrovías. Buenos Aires. Recuperado desde <file:///C:/Users/23349875934/Downloads/BROCHURE-IDG-2016.pdf>

Metrovías. (2016b). *Informe de Gestión Subte y Premetro*. Metrovías.

Metrovías. (2017). Historia. Recuperado el 26 de octubre de 2017, desde <http://www.metrovias.com.ar/Subterranos/StaticPage/Institucional/Historia/3427>

Metrovías. (2018). Nuestra Compañía. Recuperado el 10 de marzo de 2018, desde <http://www.metrovias.com.ar/Metrovias/StaticPage/Institucional/Nuestra-compa%C3%B1a/3400>

- Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires. (2017). *Subte: Viajes Molinetes 2017*. Recuperado desde <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/subte-viajes-molinetes>
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th Edition). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Naveh, E. & Halevy, A. (1999). How much do we lose on non-quality? *Total Quality Management*, 10(7), 1037-1045. doi:10.1080/0954412997217
- Oxford Economic Forecasting. (2003). *The Economic Effects of Transport Delays on the City of London*. Corporation of London. London.
- Rivas, T. (2012, Ago). El millonario costo del paro del subte. Buenos Aires. Recuperado desde <https://www.lanacion.com.ar/1498929-el-millonario-costo-del-paro-de-subte>
- Schuurman, H. (1998). Promoción de la calidad para mejorar la competitividad. *Revista de la Cepal*, (65), 169-193.
- Secretaría de Planificación, Evaluación y Coordinación de Gestión. (2017). *Tablero de Control - Cierre Diciembre 2017*. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). *Censo Anual de Pasajeros*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2016). *Listado de las cabeceras de las estaciones del Subte*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Recuperado desde <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/subte-cronograma-de-servicio>
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017a). *Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Cantidad de Viajes, Asientos y CKM*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017b). *Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Interrupciones del Servicio SUBTE - Cantidad de Pasajeros*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2018a). *Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Pedido Nro. 144407/18*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2018b). *Subte: Estado de Flota*. Recuperado desde <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/subte-trenes-despachados>
- Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2018c). *Subte: Formaciones despachadas*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado desde <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/subte-trenes-despachados>

- 
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*. Tokio: Asian Productivity Organization.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Taguchi, G. & Clausing, D. (1990). Robust Quality. *Harvard Business Review*, 68(February), 65-75. Recuperado desde <https://hbr.org/1990/01/robust-quality>
- Tirachini, A., Hensher, D. A., & Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. *Transportation Research Part A*, 53, 36-52. doi:10.1016/j.tra.2013.06.005
- Tirachini, A., Hurtubia, R., Dekker, T., & Daziano, R. A. (2017, septiembre). Estimation of crowding discomfort in public transport: Results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 311-326. doi:10.1016/j.tra.2017.06.008
- Tomino, P. (2017, junio). El Metrobus que distrae el lento avance del subte. Buenos Aires. Recuperado desde <http://www.lanacion.com.ar/2030957-el-metrobus-que-distrae-el-lento-avance-del-subte>
- Transport Committee. (2003). *Overcrowding on Public Transport*. The House of Commons. London.
- Transport for London. (2016). *London Underground Performance report*. Transport for London. London. Recuperado desde <http://content.tfl.gov.uk/lu-performance-report-period-12-2016-17.pdf>
- Transportation Research Board. (1996). *TCRP Report 13: Rail Transit Capacity*. National Research Council. Washington, D.C.
- Transportation Research Board. (1999). *TCRP Report 47: A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality*. National Research Council.
- Transportation Research Board. (2003). *TCRP Report 100: Transit Capacity and Quality of Service Manual - 2nd Edition*. National Research Council. Washington, D.C.
- Wardman, M. & Whelan, G. (2011, mayo). Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience. *Transport Reviews*, 31(3), 379-398. doi:10.1080/01441647.2010.519127
- Wood, D. C. (2014). *Principles of Quality Costs: Financial Measures for Strategic Implementation of Quality Management* (Fourth Edition) (D. C. Wood, Ed.). Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Yacuzzi, E. & Martin, F. (2002). Los Costos de la Calidad: conceptos y aplicaciones en la Industria Farmacéutica. *Pharmaceutical Management*, 4(9), 29-35.



## APÉNDICES

### Apéndice A: Caracterización de los Subterráneos de Buenos Aires

Tabla A1

*Nivel de satisfacción global: Comparativo septiembre 2012 - septiembre 2017*

Calificación del servicio	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	Sept	Sept	Dic	Sept	Dic	Sept	Dic	Sept	Dic	Mar	Sept	
Positivo	33 %	41 %	44 %	55 %	51 %	62 %	65 %	65 %	65 %	64 %	68 %	
Regular	41 %	42 %	35 %	32 %	36 %	29 %	28 %	27 %	27 %	28 %	26 %	
Negativo	25 %	18 %	21 %	13 %	13 %	9 %	7 %	8 %	8 %	8 %	6 %	

*Nota Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2017). Resultados de la encuesta sobre el servicio de subte. Recuperado el 26/10/2017, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/resultados-de-la-encuesta>*

Tabla A2

*Nivel de satisfacción por variable: Comparativo septiembre 2012 - septiembre 2017*

Nivel de Satisfacción: Comparativo	2012	2017	Clasificación
Iluminación de vagones y estaciones	49 %	74 %	Limpieza y ambiente
Estado de cartelería informativa sobre recorridos y frecuencias	47 %	69 %	Información Disponible
La oferta de medios de pago y recarga de tarjetas	50 %	67 %	Pago
Estado general de las estaciones	23 %	60 %	Limpieza y ambiente
Atención/trato del personal	34 %	58 %	N/A
Frecuencia del servicio	25 %	55 %	Frecuencia
Estado general de los vagones	18 %	54 %	Limpieza y ambiente
Limpieza (trenes y estaciones)	17 %	51 %	Limpieza y ambiente
Comodidad en los vagones	19 %	49 %	Comodidad
Accesibilidad a los andenes (escaleras mecánicas y ascensor)	27 %	47 %	Accesibilidad
Seguridad de los trenes (mantenimiento de vagones y vías)	13 %	47 %	Seguridad
Ventilación de las estaciones	18 %	43 %	Limpieza y ambiente
Ventilación de los vagones	14 %	41 %	Limpieza y ambiente
El costo del pasaje	18 %	39 %	Pago
Olor (trenes/estaciones)	0 %	39 %	Limpieza y ambiente
Seguridad (control de robos y delitos)	14 %	35 %	Seguridad
El nivel sonoro (ruido)	17 %	31 %	Limpieza y ambiente
Atención de los reclamos	11 %	28 %	N/A

*Nota Fuente: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2017). Resultados de la encuesta sobre el servicio de subte. Recuperado el 26/10/2017, desde <http://www.buenosaires.gob.ar/subte/resultados-de-la-encuesta>*

Tabla A3

*Cantidad de asientos disponibles por flota (Mayo 2017)*

Línea	Flota	SBASE-GCBA	AGCBA
A	CNR	36	37
B	Mitsubishi	50	54
B	CAF 5000	32	37
B	CAF 6000	28	-
C	Nagoya 300	42	40
C	Nagoya 1200	42	40
C	Nagoya 5000	42	40
D	Alstom 100	35	34
D	Fiat FM	44	41
E	G.E.E.	41	42
E	Fiat FM	44	41
H	Alstom 300	35	34
PM	Materfer FM	32	32

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a la información provista por Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires. (2013). Informe Final de Auditoría - Proyecto Nro. 1.13.15, Ley 4472 y por Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017). Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Cantidad de Viajes, Asientos y CKM. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires.*

## **Apéndice B: Función de Pérdida de Taguchi (QLF) para Interrupciones**

Tabla B1

*Porcentaje de Interrupciones en Fallas Operativas (excluyendo PM), segmentado por subcausa y año (2012-2016)*

	2012	2013	2014	2015	2016
Adecuación horaria		2 %			3 %
Ausencia de personal	25 %	48 %	68 %	53 %	44 %
Error humano u operativo	37 %	49 %	22 %	38 %	22 %
Falla de cambio o señales	0 %	0 %	6 %	0 %	0 %
Falla u ocupación de CDV o cambios	3 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Problema operativo	2 %	1 %	4 %	2 %	31 %
Reducción del servicio	33 %	0 %	0 %	7 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla B2

*Ejemplos de Descripción de Interrupciones por fuerza mayor según SBASE (Enero 2012-Marzo 2017)*

Tipo	Ejemplo
Factores Climáticos	Intensa niebla Anegamiento provocado por Obra del GCBA
Evento o manifestación	Vía bloqueada por manifestantes Operativo policial Vía bloqueada por feria, evento gubernamental o cultural Obras del GCBA
Negligencia externa	Vía bloqueada por vehículo particular o accidente de tránsito Filtraciones de agua producidas por AySA Cable de empresa externa desprendido

**Nota Fuente:** *Elaboración propia en base a la información provista en Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2017). Solicitud de Información - Ley Nro. 104 - Interrupciones del Servicio SUBTE - Cantidad de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla B3

*Costo Total de Interrupciones por Escenario, año y línea (2012-2016), en función a la cantidad total de viajes con interrupciones por año.*

Línea	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Escenario 1</b>					
A	\$ 5.012,91	\$ 4.037,33	\$ 27.171,88	\$ 17.114,26	\$ 6.954,11
B	\$ 6.135,20	\$ 7.135,74	\$ 27.603,18	\$ 20.989,19	\$ 11.590,19
C	\$ 1.870,49	\$ 1.596,15	\$ 11.645,09	\$ 11.301,87	\$ 9.706,78
D	\$ 4.189,90	\$ 5.351,80	\$ 30.190,97	\$ 42.947,12	\$ 45.781,25
E	\$ 4.638,81	\$ 4.412,89	\$ 46.149,06	\$ 71.363,25	\$ 39.406,64
H	\$ 0,00	\$ 5.445,70	\$ 24.152,78	\$ 28.739,05	\$ 17.964,79
PM	\$ 6.359,66	\$ 7.605,20	\$ 113.431,80	\$ 78.467,29	\$ 50.707,08
Total 1	\$ 28.206,98	\$ 35.584,80	\$ 280.344,76	\$ 270.922,03	\$ 182.110,85
<b>Escenario 2</b>					
A	\$ 122.546,26	\$ 13.411,97	\$ 4.941,89	\$ 2.416,41	\$ 3.303,52
B	\$ 129.354,38	\$ 40.235,92	\$ 7.907,02	\$ 6.041,02	\$ 4.955,27
C	\$ 136.162,51	\$ 1.676,50	\$ 15.814,04	\$ 12.082,04	\$ 6.607,03
D	\$ 129.354,38	\$ 3.352,99	\$ 7.907,02	\$ 8.457,42	\$ 5.781,15
E	\$ 129.354,38	\$ 1.676,50	\$ 5.930,26	\$ 7.249,22	\$ 9.910,55
H	\$ 0,00	\$ 57.000,88	\$ 13.837,28	\$ 4.832,81	\$ 3.303,52
PM	\$ 136.162,51	\$ 6.705,99	\$ 19.767,55	\$ 4.832,81	\$ 6.607,03
Total 2	\$ 782.934,43	\$ 124.060,74	\$ 76.105,05	\$ 45.911,74	\$ 40.468,07
<b>Escenario 3</b>					
A	\$ 456,99	\$ 674,77	\$ 1.316,03	\$ 4.116,60	1.840,60
B	\$ 304,66	\$ 224,92	\$ 3.070,75	\$ 5.763,24	3.067,66
C	\$ 76,17	\$ 449,85	\$ 1.754,71	\$ 1.646,64	1.840,60
D	\$ 456,99	\$ 674,77	\$ 2.193,39	\$ 2.469,96	3.681,19
E	\$ 152,33	\$ 0,00	\$ 438,68	\$ 0,00	\$ 0,00
H	\$ 0,00	\$ 449,85	\$ 438,68	\$ 2.469,96	\$ 0,00
PM	\$ 4.341,41	\$ 8.547,14	\$ 38.603,68	\$ 40.342,66	\$ 25.768,36
Total 3	\$ 5.788,55	\$ 11.021,31	\$ 47.815,93	\$ 56.809,06	\$ 36.198,41

*Nota Fuente: Elaboración propia*



---

## Apéndice C: Función de Pérdida de Taguchi (QLF) para Hacinamiento

Tabla C1

*Total de Pasajeros por hora, dirección y línea (2014)*

Línea	HPM (8 a 9 am)		HPT (6 a 7 pm)		HNPM (10 a 11 am)		HNPT (8 a 9 pm)	
	Hacia C <sub>2</sub>	Hacia C <sub>1</sub>	Hacia C <sub>2</sub>	Hacia C <sub>1</sub>	Hacia C <sub>2</sub>	Hacia C <sub>1</sub>	Hacia C <sub>2</sub>	Hacia C <sub>1</sub>
A	15.567	5.771	9.145	12.555	9.664	5.548	3.205	6.048
B	21.882	9.801	15.047	18.803	14.129	8.622	5.361	9.045
C	17.841	6.530	7.362	15.938	8.806	6.490	2.746	6.239
D	17.684	11.025	12.193	18.665	11.776	9.205	6.205	8.764
E	7.573	2.730	2.583	6.595	3.794	2.696	958	2.515
H	2.177	3.408	3.995	2.352	1.698	2.359	1.786	935
PM	278	145	493	202	213	440	286	154

*Nota Fuente: Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C2

Línea A: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
San Pedrito	100 %	100 %	0 %	0 %
Flores	73 %	92 %	5 %	2 %
Carabobo	80 %	92 %	3 %	3 %
Púan	90 %	94 %	13 %	14 %
Primera Junta	65 %	67 %	35 %	24 %
Acoyte	94 %	93 %	22 %	23 %
Rio de Janeiro	89 %	85 %	36 %	38 %
Castro Barros	86 %	75 %	44 %	46 %
Loria	77 %	82 %	38 %	46 %
Plaza Miserere	75 %	75 %	52 %	60 %
Alberti	0 %	0 %	100 %	100 %
Pasco	100 %	100 %	0 %	0 %
Congreso	42 %	38 %	70 %	84 %
Sáenz Peña	40 %	39 %	65 %	84 %
Lima	22 %	31 %	69 %	79 %
Piedras	6 %	10 %	70 %	94 %
Perú	19 %	16 %	69 %	87 %
Plaza de Mayo	0 %	0 %	100 %	100 %

**Nota Fuente:** Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires

Tabla C3

*Línea B: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)*

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
Leandro N. Alem	0 %	0 %	100 %	100 %
Florida	1 %	3 %	56 %	77 %
Carlos Pellegrini	20 %	25 %	72 %	84 %
Uruguay	21 %	31 %	79 %	90 %
Callao	35 %	40 %	77 %	84 %
Pasteur	40 %	43 %	64 %	83 %
Pueyrredón	49 %	55 %	65 %	68 %
Carlos Gardel	71 %	71 %	44 %	51 %
Medrano	73 %	76 %	39 %	48 %
Ángel Gallardo	86 %	85 %	24 %	29 %
Malabia	92 %	91 %	16 %	22 %
Dor-rego	92 %	95 %	10 %	12 %
Federico Lacroze	97 %	98 %	4 %	5 %
Tronador	87 %	88 %	4 %	9 %
Los Incas	77 %	89 %	3 %	2 %
Echeverría	67 %	93 %	1 %	4 %
Rosas	100 %	100 %	0 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C4

*Línea C: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)*

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
Constitución	100 %	100 %	0 %	0 %
San Juan	92 %	91 %	2 %	9 %
Independencia	86 %	85 %	28 %	24 %
Mariano Moreno	12 %	16 %	72 %	77 %
Avenida de Mayo	67 %	54 %	62 %	66 %
Diagonal Norte	30 %	24 %	83 %	86 %
Lavalle	28 %	27 %	80 %	85 %
General San Martín	4 %	4 %	92 %	97 %
Retiro	0 %	0 %	100 %	100 %

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C5

*Línea D: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)*

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
Catedral	0 %	0 %	100 %	100 %
9 de Julio	10 %	18 %	88 %	80 %
Tribunales	39 %	51 %	63 %	88 %
Callao	45 %	55 %	69 %	73 %
Facultad de Medicina	54 %	59 %	60 %	64 %
Pueyrredón	80 %	75 %	63 %	68 %
Agüero	75 %	80 %	40 %	53 %
Bulnes	79 %	76 %	44 %	54 %
Scalabrini Ortiz	82 %	74 %	38 %	45 %
Plaza Italia	83 %	84 %	16 %	22 %
Palermo	79 %	81 %	30 %	27 %
Ministro Carranza	92 %	87 %	26 %	30 %
Olleros	91 %	88 %	19 %	22 %
José Hernández	93 %	95 %	6 %	8 %
Juramento	82 %	88 %	5 %	4 %
Congreso de Tucumán	100 %	100 %	0 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C6

*Línea E: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)*

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
Bolívar	0 %	0 %	100 %	100 %
General Belgrano	30 %	9 %	66 %	84 %
Independencia	32 %	28 %	75 %	79 %
San José	63 %	60 %	70 %	71 %
Entre Ríos	68 %	46 %	50 %	70 %
Pichincha	74 %	71 %	49 %	68 %
Jujuy	80 %	53 %	60 %	66 %
Urquiza	86 %	89 %	42 %	36 %
Boedo	92 %	87 %	14 %	35 %
Avenida La Plata	97 %	96 %	26 %	18 %
José María Moreno	96 %	93 %	16 %	32 %
Emilio Mitre	92 %	98 %	9 %	5 %
Medalla Milagrosa	78 %	93 %	6 %	22 %
Varela	54 %	95 %	2 %	5 %
Plaza de los Virreyes	100 %	100 %	0 %	0 %

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C7

*Línea H: Cantidad de pasajeros que se dirigen a cada cabecera, segmentado por estación e intervalo de tiempo (2014)*

Estaciones	8 a 9 am	10 a 11 am	6 a 7 pm	8 a 9 pm
	% C2	% C2	% C1	% C1
Hospitales	100 %	100 %	0 %	0 %
Parque Patricios	99 %	98 %	3 %	9 %
Caseros	99 %	100 %	0 %	1 %
Inclán	96 %	94 %	7 %	8 %
Humberto I	80 %	82 %	38 %	19 %
Venezuela	82 %	80 %	19 %	55 %
Once	40 %	58 %	58 %	62 %
Corrientes	36 %	40 %	74 %	80 %
Córdoba	25 %	28 %	72 %	86 %
Santa Fe	13 %	10 %	74 %	85 %
Las Heras	0 %	0 %	100 %	100 %

*Nota Fuente: Elaboración propia en base a Subterráneos de Buenos Aires Sociedad del Estado. (2014). Censo Anual de Pasajeros. Ministerio de Desarrollo Urbano y Transporte de la Ciudad de Buenos Aires*

Tabla C8

*L por hacinamiento para Enero y Febrero 2017, segmentado por línea y por escenario*

Línea	LHPM	LHPT	LHNPM	LHNPT
A	\$ 32,89	\$ 12,85	\$ 12,00	\$ 86,05
B	\$ 41,17	\$ 10,63	\$ 29,81	\$ 59,96
C	\$ 724,12	\$ 53,29	\$ 725,40	\$ 238,68
D	\$ 7,64	\$ 31,16	\$ 65,81	\$ 79,16
E	\$ 178,78	\$ 101,18	\$ 132,85	\$ 197,92
H	\$ 240,35	\$ 209,21	\$ 392,69	\$ 122,74

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla C9

*L por hacinamiento para Marzo 2017, segmentado por línea y por escenario*

Línea	LHPM	LHPT	LHNPM	LHNPT
A	\$ 139,86	\$ 11,87	\$ 29,66	\$ 72,57
B	\$ 33,92	\$ 64,55	\$ 58,53	\$ 69,02
C	\$ 231,33	\$ 23,57	\$ 183,21	\$ 129,21
D	\$ 29,64	\$ 91,12	\$ 25,49	\$ 57,68
E	\$ 40,43	\$ 117,00	\$ 222,14	\$ 148,58
H	\$ 100,30	\$ 58,42	\$ 299,74	\$ 42,46

*Nota Fuente: Elaboración propia*

## Apéndice D: Contextualización de resultados

Tabla D1

*Costos de no calidad por viaje para un pasajero típico, segmentado por línea e intervalo de tiempo (2017)*

Línea	HPM		HPT	
	Sin interrupciones	Con interrupciones	Sin interrupciones	Con interrupciones
A	\$ 139,86	\$ 318,59	\$ 11,87	\$ 190,60
B	\$ 33,92	\$ 212,64	\$ 64,55	\$ 243,27
C	\$ 231,33	\$ 410,06	\$ 23,57	\$ 202,30
D	\$ 29,64	\$ 208,37	\$ 91,12	\$ 269,85
E	\$ 40,43	\$ 219,16	\$ 117,00	\$ 295,72
H	\$ 100,30	\$ 279,02	\$ 58,42	\$ 237,15

*Nota Fuente: Elaboración propia*

Tabla D2

*Costos de no calidad mensuales durante el primer trimestre 2017 para un pasajero típico (segmentado por línea y por fuente de CNCC) y el porcentaje que representa dicho costo sobre los ingresos medios mensuales de CABA y GBA*

Línea	Costo por hacinamiento	Costo por Hacinamiento + Interrupción	Total por Mes	% ingreso mensual CABA	% ingreso mensual GBA
A	\$ 3.034,65	\$ -	\$ 3.034,65	9,8 %	13,6 %
B	\$ 1.870,92	\$ 455,92	\$ 2.326,84	7,5 %	10,4 %
C	\$ 4.843,24	\$ 612,36	\$ 5.455,59	17,6 %	24,5 %
D	\$ 2.153,68	\$ 1.036,14	\$ 3.189,82	10,3 %	14,3 %
E	\$ 2.755,07	\$ 1.287,20	\$ 4.042,27	13,0 %	18,1 %
H	\$ 3.121,57	\$ 172,06	\$ 3.293,63	10,6 %	14,8 %

*Nota Fuente: Elaboración propia*