



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE
TRANSPORTE Y LOGÍSTICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

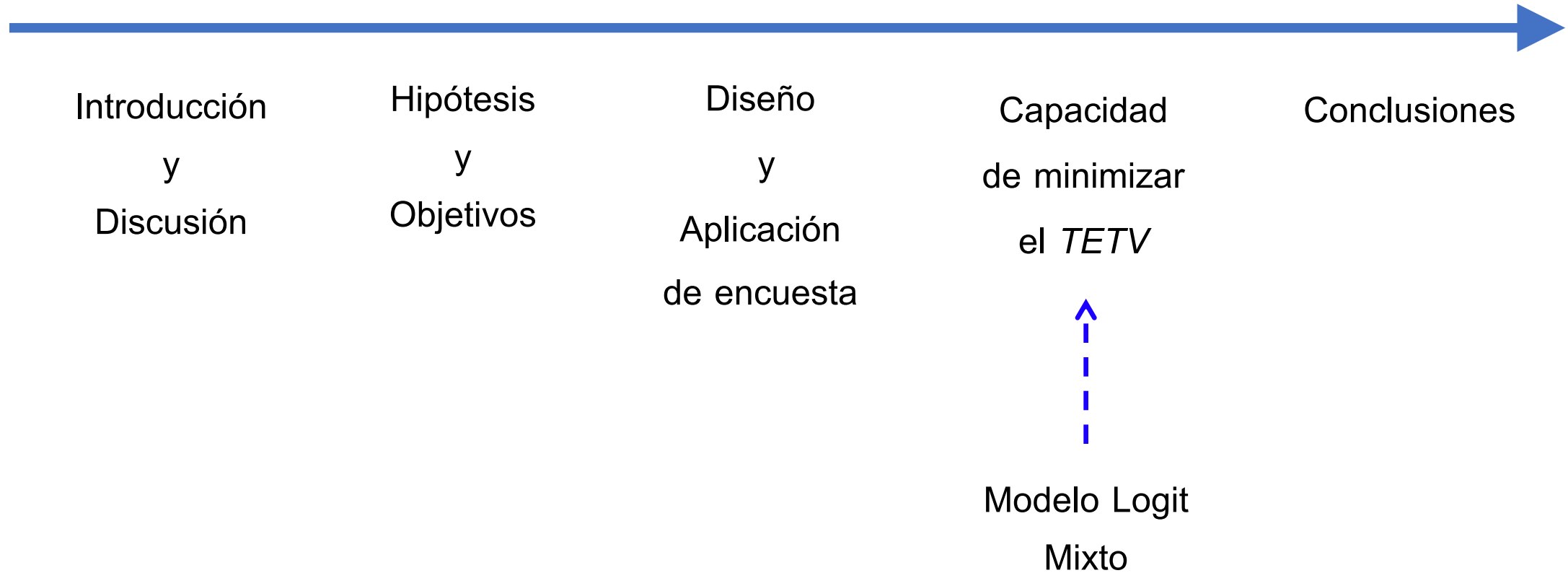
CCIT19
SANTIAGO

Impacto de los factores socioeconómicos y cognitivos en la optimalidad de rutas de viaje en transporte público

Carlos Céspedes - Sebastián Raveau

07 octubre 2019

Contenidos de la presentación



Introducción

Los **modelos de elección de ruta** juegan un rol importante en la planificación y configuración del transporte público. Por ejemplo, estos permiten:

- **Pronosticar** el comportamiento de los viajeros ante escenarios hipotéticos.¹
- **Predecir** futuras condiciones del tráfico en la red de transporte.¹
- **Resolver** el problema de asignación dentro del modelo clásico de transporte.²

¹ Prato, C.G. (2009). Route choice modeling: past, present and future research directions.

² Ortúzar, J. de D., y Willumsen, L.G. (2011). Modelling transport.

Introducción

Sin embargo, la **modelación de elección de ruta no está exenta de desafíos**, puesto que no necesariamente el modelador tiene conocimiento del comportamiento de los usuarios del sistema (preferencias y percepciones).

Introducción

Sin embargo, la **modelación de elección de ruta no está exenta de desafíos**, puesto que no necesariamente el modelador tiene conocimiento del comportamiento de los usuarios del sistema (preferencias y percepciones).

Ante eso, usualmente la literatura asume que en la realidad **todos los viajeros minimizan su tiempo esperado total de viaje ($TETV$)**.

$$TETV = t_v + t_e$$

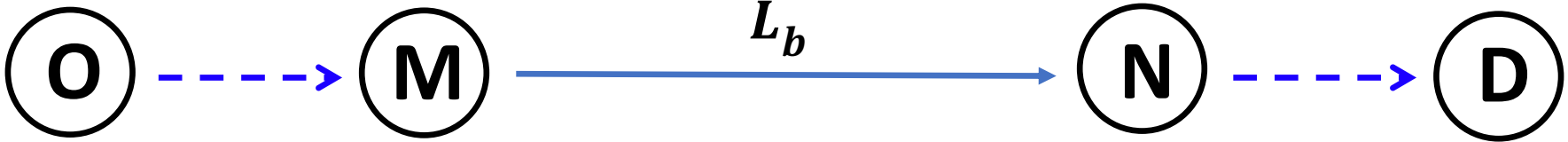
Alternativas de viaje

Generalmente, la modelación de elección de ruta estima que los viajeros de transporte público de alta frecuencia se comportan bajo tres tipos de alternativas de viaje:

- Itinerario (*IT*).
- Línea común (*LC*).
- Hiper-ruta (*HY*).

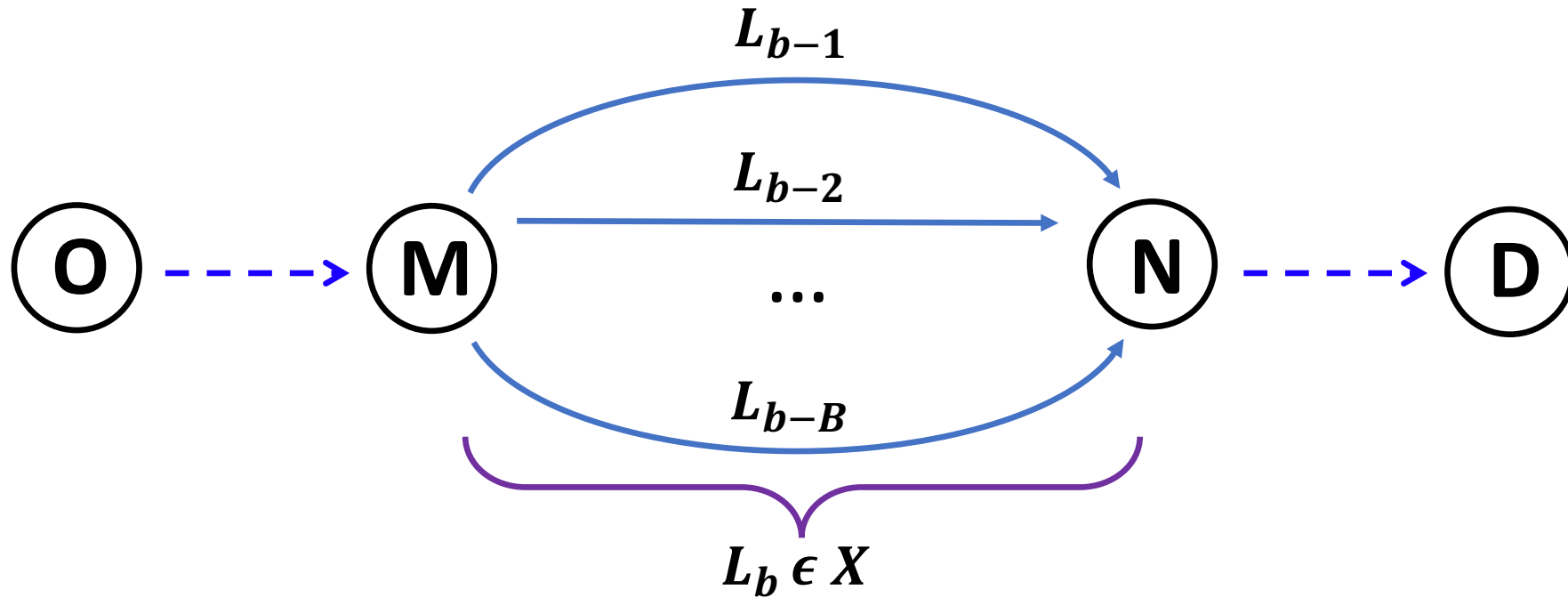
Alternativas de viaje

Itinerario:



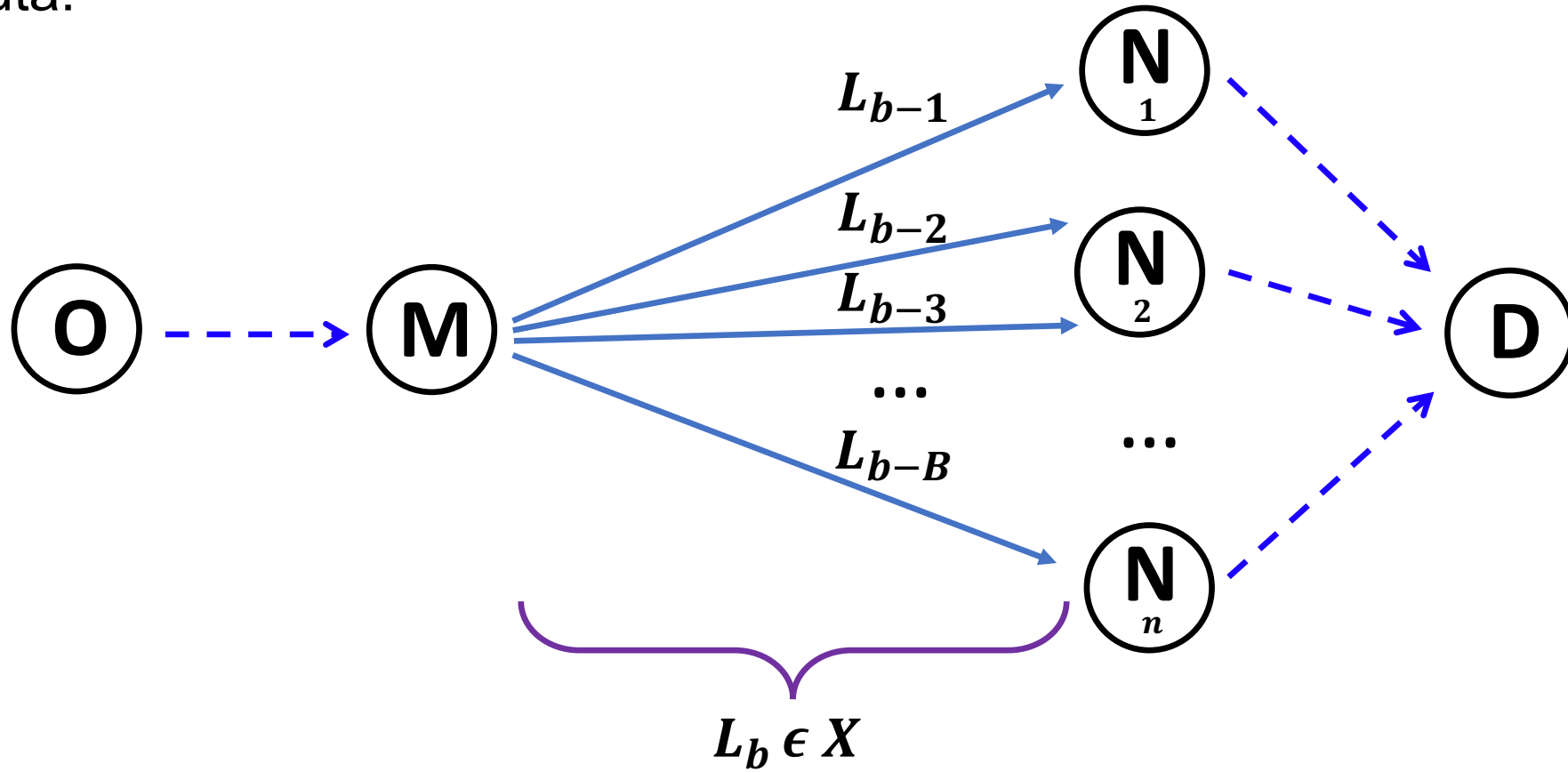
Alternativas de viaje

Línea común:



Alternativas de viaje

Hiper-ruta:



Modelos de elección de ruta

Se han planteado tres modelos de modelos de elección de ruta para modelar el comportamiento de los viajeros al interior del transporte público:

- Modelo de Itinerarios Mínimos.
- Modelo de Rutas Mínimas.
- Modelo de Estrategias Mínimas.

Modelo

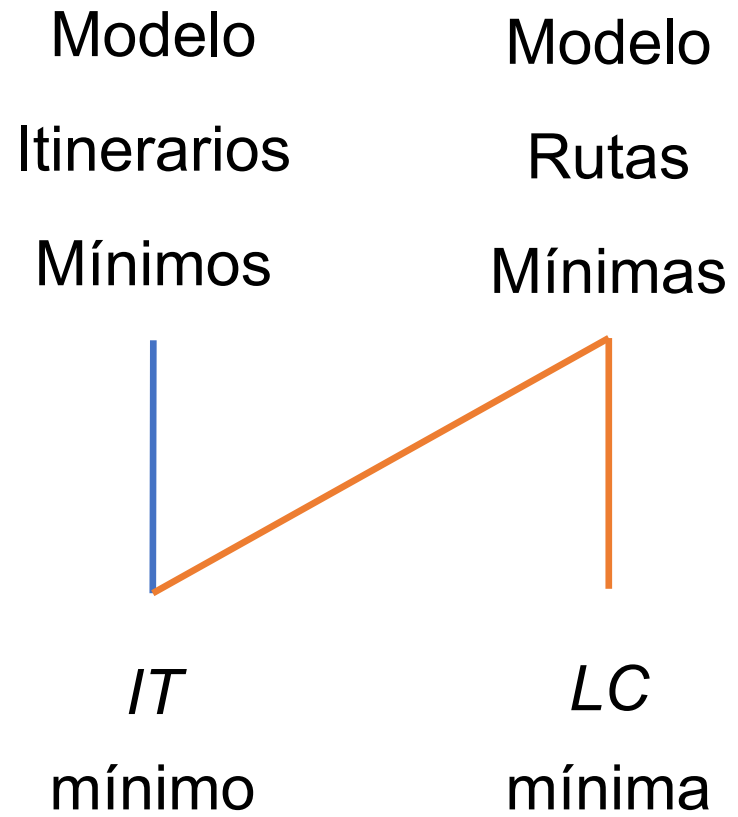
Itinerarios

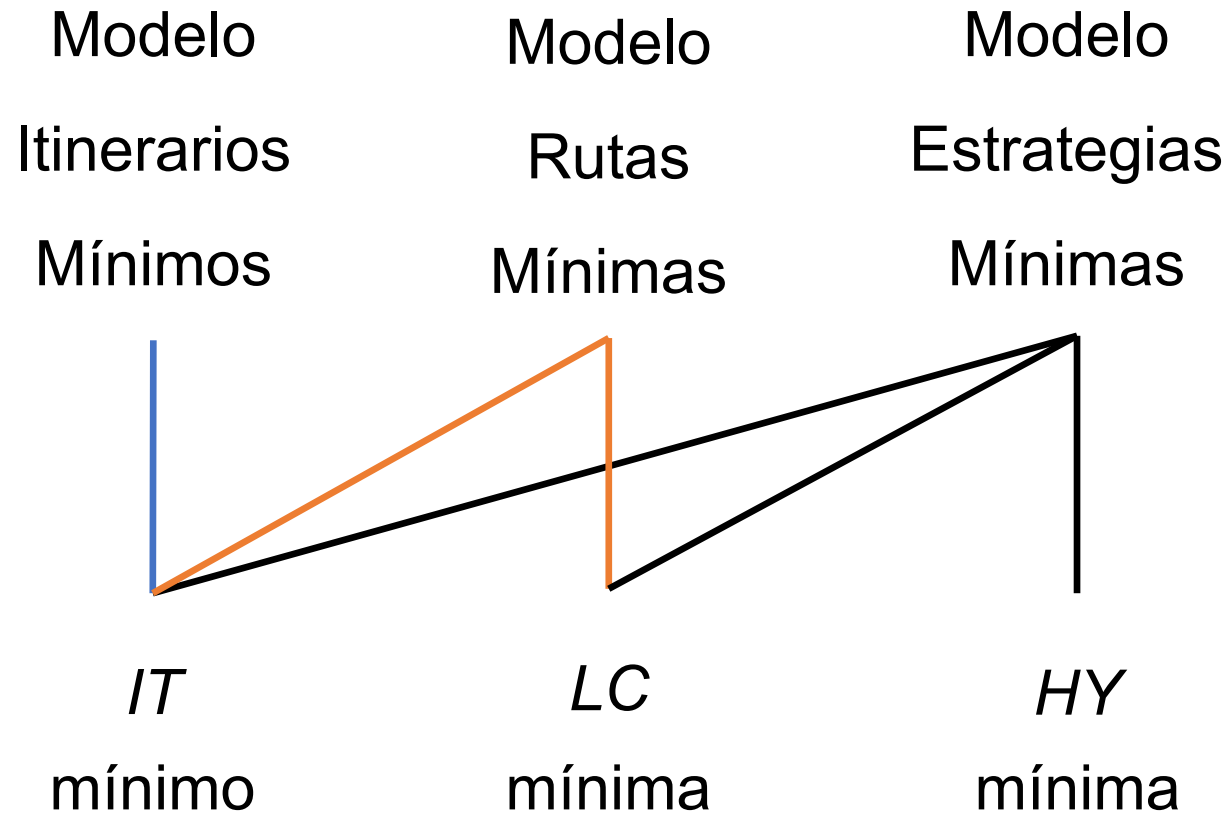
Mínimos



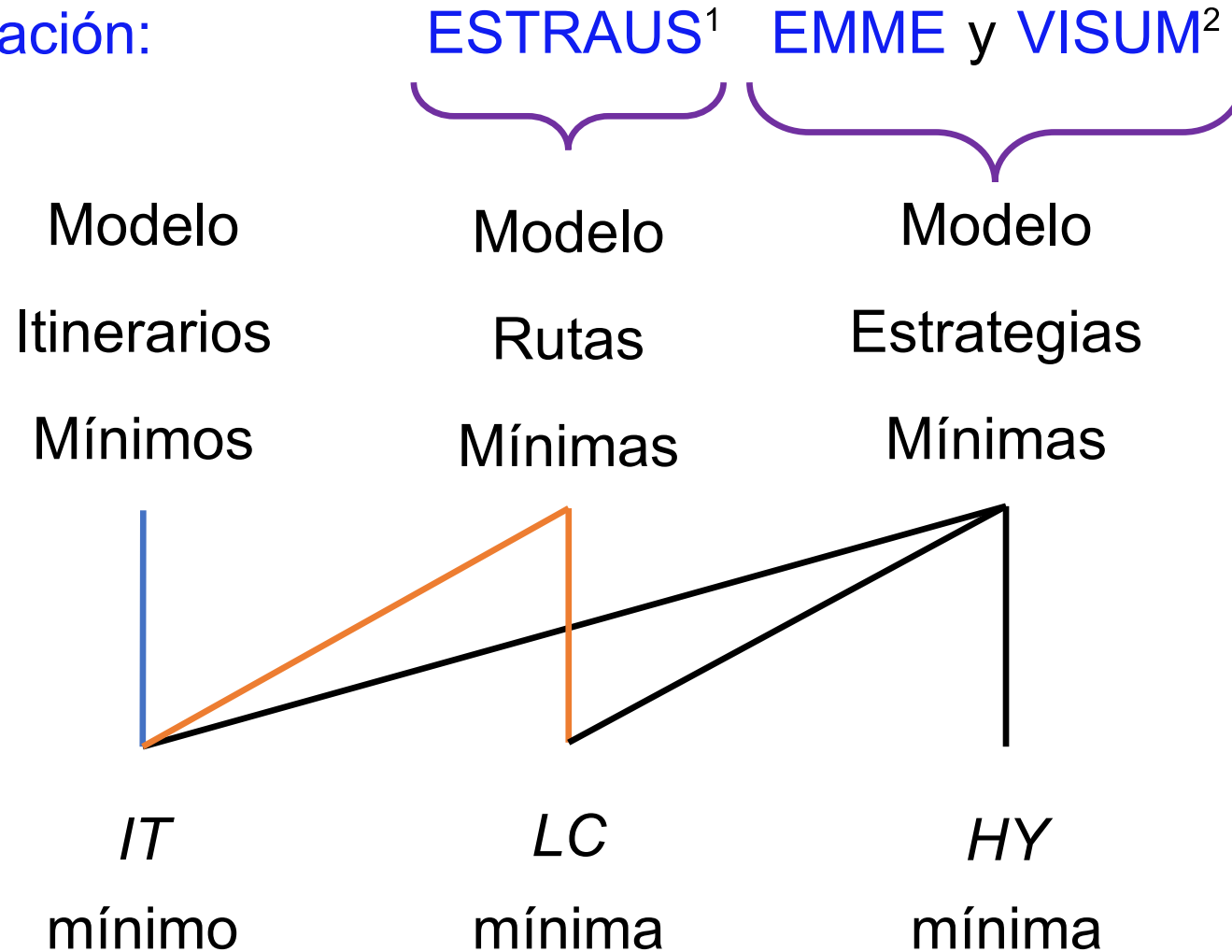
IT

mínimo





Software de asignación:



¹ De Cea, J., Fernandez, J.E., Dekock, V., Soto, A., y Friesz, T.L. (2003). ESTRAUS: a computer package for solving supply-demand equilibrium problems on multimodal urban transportation networks with multiple user classes.

² Hildebrand, C., y Hörtn, S. (2014). A comparative study between Emme and Visum with respect to public transport assignment.

%?

Modelo

Itinerarios

Mínimos

%?

Modelo

Rutas

Mínimas

%?

Modelo

Estrategias

Mínimas

%?

IT

mínimo

%?

LC

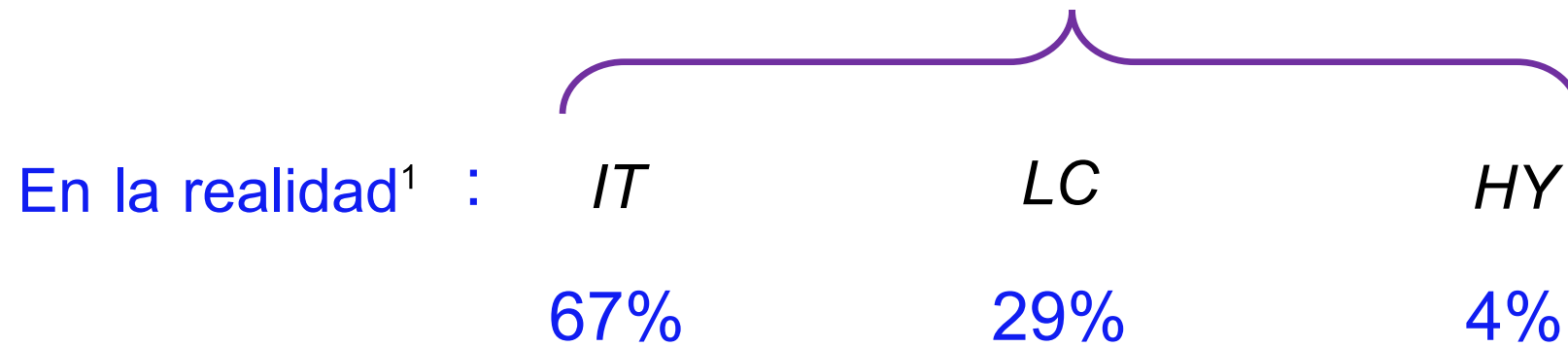
mínima

%?

HY

mínima

¿ Optimalidad ?

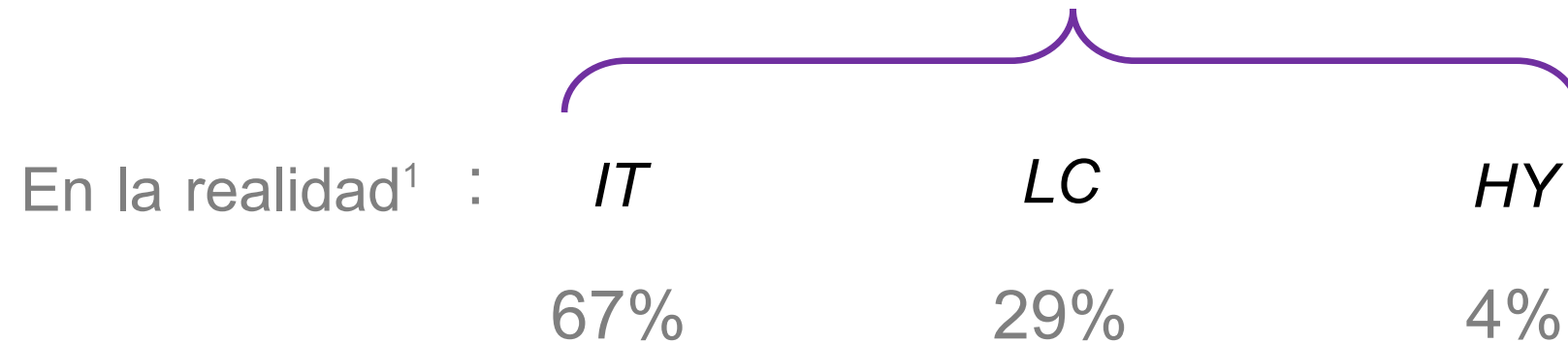


¹Raveau, S., y Muñoz, J.C. (2014). Analyzing route choice strategies on transit network.

¿ Realmente todos minimizan su *TETV* ?



¿ Optimalidad ?



¹Raveau, S., y Muñoz, J.C. (2014). Analyzing route choice strategies on transit network.

Discusión teórica

¿Qué dicen otras investigaciones?

- Prato, C.G. (2009)¹
- Fonzone et al. (2010)²
- Kurauchi et al. (2012)³

Los factores socioeconómicos y las características del viaje inciden en las estrategias de viaje de los viajeros

¹ Prato, C.G. (2009). Route choice modeling: past, present and future research directions.

² Fonzone, A., Schmöcker, J.D., Bell, M.G., Gentile, G., Kurauchi, F., Nökel, K., y Wilson, N.H. (2010). Do “hyper-travellers” exist?—Initial results of an international survey on public transport user behaviour.

³ Kurauchi, F., Schmöcker, J.D., Fonzone, A., Hemdan, S., y Bell, M. (2012). Estimating weights of times and transfers for hyperpath travelers.

Enfoques

Verificar si los viajeros minimizan su $TETV$ al interior del sistema de transporte público de alta frecuencia.

Enfoques

Verificar si los viajeros minimizan su *TETV* al interior del sistema de transporte público de alta frecuencia.



aproximación del estudio

Determinar si los viajeros poseen la **capacidad** de realizar aquello.

Enfoques

Verificar si los viajeros minimizan su *TETV* al interior del sistema de transporte público de alta frecuencia.



aproximación del estudio

Determinar si los viajeros poseen la **capacidad** de realizar aquello.



Redes hipotéticas de transporte público de alta frecuencia (*RHTP*).



Introducción
y
Discusión

Hipótesis
y
Objetivos

Diseño
y
Aplicación
de encuesta

Capacidad
de minimizar
el *TETV*

Conclusiones



Modelo Logit
Mixto

Hipótesis

No todos los viajeros de transporte público de alta frecuencia poseen la capacidad de minimizar su *TETV*.

La capacidad disminuye a medida que aumenta la complejidad de la situación de elección de alternativas de viaje.

Objetivos

- I. Investigar qué tipo de alternativas de viajes son utilizadas sobre las *RHTP*.

Objetivos

- I. Investigar qué tipo de alternativas de viajes son utilizadas sobre las *RHTP*.
- II. Estimar valoración del t_e y del costo t_r respecto al t_v sobre las *RHTP*.

Objetivos

- I. Investigar qué tipo de alternativas de viajes son utilizadas sobre las *RHTP*.
- II. Estimar valoración del t_e y del costo t_r respecto al t_v sobre las *RHTP*.
- III. Examinar el % efectivo de personas que minimiza su *TETV* sobre las *RHTP*.

Objetivos

- I. Investigar qué tipo de alternativas de viajes son utilizadas sobre las *RHTP*.
- II. Estimar valoración del t_e y del costo t_r respecto al t_v sobre las *RHTP*.
- III. Examinar el % efectivo de personas que minimiza su *TETV* sobre las *RHTP*.
- IV. Evaluar si la capacidad de minimizar el *TETV* se reduce al incrementar la dificultad de las *RHTP*.

Objetivos

- I. Investigar qué tipo de alternativas de viajes son utilizadas sobre las *RHTP*.
- II. Estimar valoración del t_e y del costo t_r respecto al t_v sobre las *RHTP*.
- III. Examinar el % efectivo de personas que minimiza su *TETV* sobre las *RHTP*.
- IV. Evaluar si la capacidad de minimizar el *TETV* se reduce al incrementar la dificultad de las *RHTP*.
- V. Determinar cuáles son los factores socioeconómicos y cognitivos que influyen sobre la capacidad de minimizar el *TETV* dentro de las *RHTP*.



Introducción
y
Discusión

Hipótesis
y
Objetivos

Diseño
y
Aplicación
de encuesta

Capacidad
de minimizar
el *TETV*

Conclusiones



Modelo Logit
Mixto

Diseño de la encuesta

Para desarrollar la investigación, se diseñó una encuesta que fuese capaz de captar la información requerida. Esta se elaboró en base a dos evaluaciones:

- M10.
- Hyperpath.

Ambas fueron programadas en “*surveygizmo.com*”.

M10

Prueba psicológica, confeccionada por el Centro de Desarrollo de Tecnologías de Inclusión UC, que:

- Posee una duración límite de **10 minutos**.
- Capta la **inteligencia general** de las personas por medio de **34 preguntas**.
- Entrega un indicador absoluto de inteligencia general → ***PSI***

M10

Habilidades de seriación

Ejemplo:

Observe la siguiente serie: $1 - 3 - 7 - 15 - 31 - X$

¿Cuál de las siguientes opciones debería ir en X?

a) 16

b) 63

c) 62

d) 76

e) 38

Hyperpath

- Preguntas socioeconómicas (*PS*).
- Preguntas de Preferencias Reveladas (*PPR*).
- Preguntas de Preferencias Declaradas (*PPD*).

Hyperpath: *PS*

Proporcionan los **aspectos socioeconómicos** de los encuestados.

- Edad.
- Sexo.
- Nivel de ingreso.
- Nivel de educación formal.
- Ocupación.

Hyperpath: *PPR*

Permiten observar el **comportamiento real** del encuestado al interior del transporte público, captando sus **restricciones individuales**.

Estas se encuentran orientadas a revelar detalles respecto al **viaje** que el encuestado realiza con **más frecuencia en la actualidad durante la semana en el sentido de ida**.

Hyperpath: *PPR*

- ¿Cuánto tiempo dura su viaje?
 - Menos de 20 minutos
 - 20 minutos
 - 30 minutos
 - 40 minutos
 - 50 minutos
 - 60 minutos
 - Más de 60 minutos

Hyperpath: *PPD*

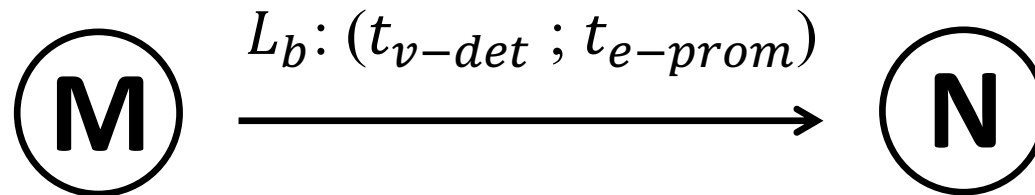
Permiten captar el **comportamiento hipotético** del encuestado sobre las *RHTP*.

Antes de elaborar las *PPD*, fue necesario **construir las *RHTP***.

Hyperpath: *PPD*

Las *RHTP* fueron diseñadas en base a **paraderos** y **líneas de buses**, de manera que los encuestados enfrentan las siguientes condiciones de viaje:

- Tiempo de viaje a bordo del vehículo determinístico y conocido (t_{v-det}).
- Tiempo de espera promedio equivalente al *headway* completo (t_{e-prom}).
- No existe congestión.



Hyperpath: *PPD*

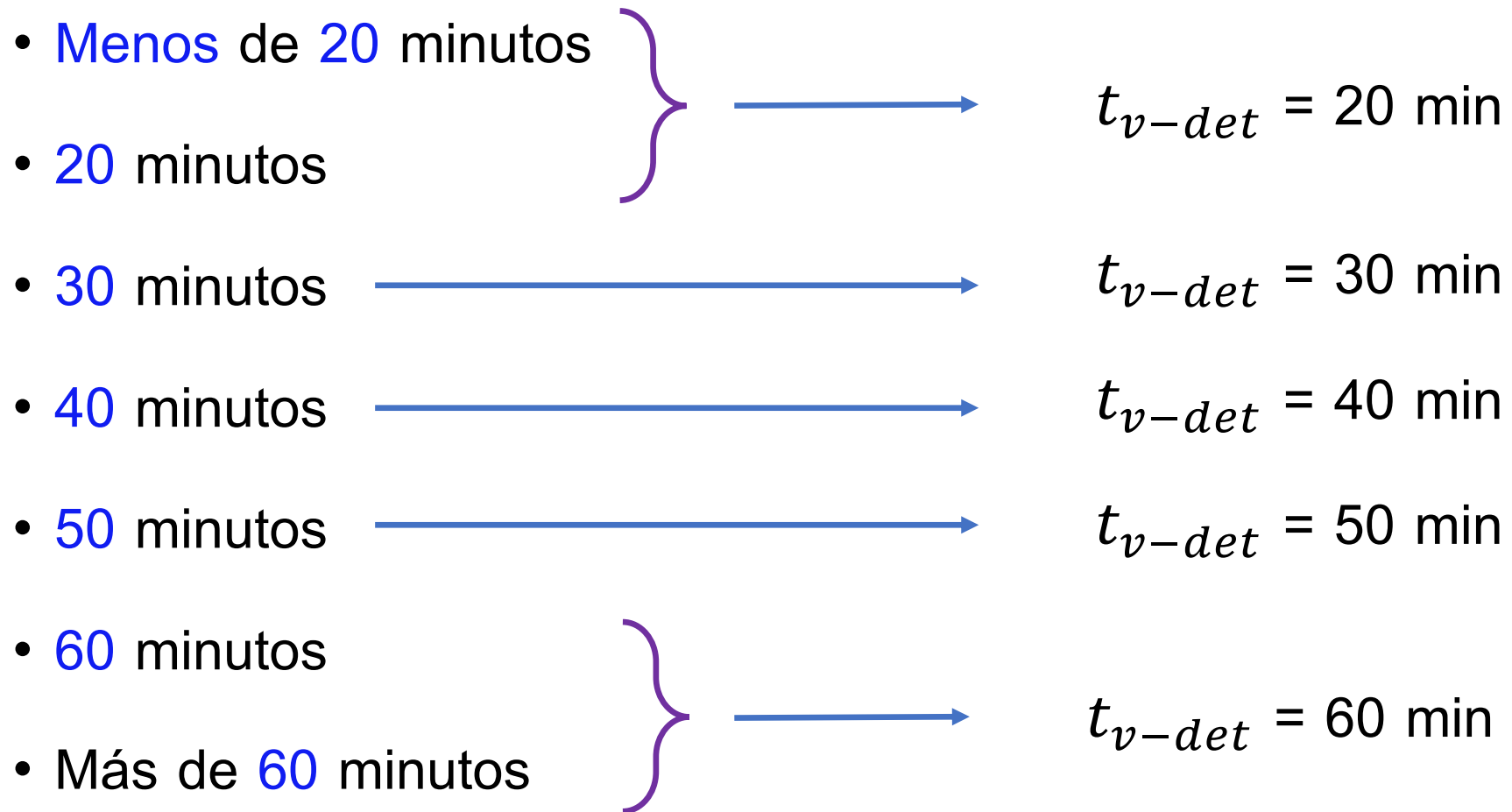
Así también, las *RHTP* fueron configuradas de modo que:

- Aumente la complejidad (nodos y líneas de buses).
- Puedan utilizar *IT*, *LC* o *HY*.
- Se ajusten al contexto del encuestado.

¿Cuánto tiempo dura su viaje?

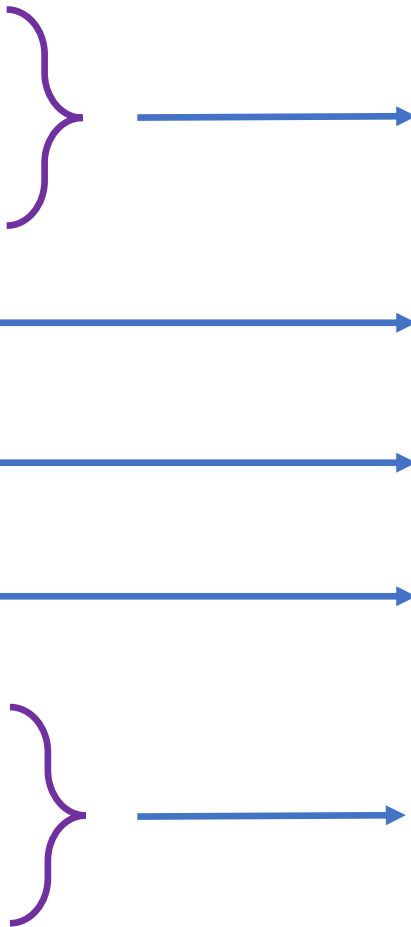
RHTP que posean un

IT mínimo con:



¿Cuánto tiempo dura su viaje?

- Menos de 20 minutos
- 20 minutos
- 30 minutos
- 40 minutos
- 50 minutos
- 60 minutos
- Más de 60 minutos



RHTP que posean un

IT mínimo con:

$$t_{v-det} = 20 \text{ min}$$

$$t_{v-det} = 30 \text{ min}$$

$$t_{v-det} = 40 \text{ min}$$

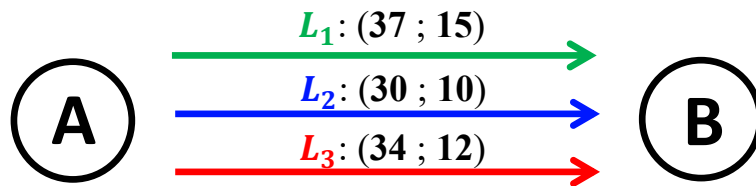
$$t_{v-det} = 50 \text{ min}$$

$$t_{v-det} = 60 \text{ min}$$

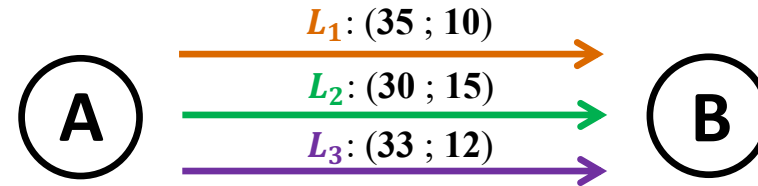
5
pivotes
temporales

Hyperpath: *PPD*

RHTP 0x0



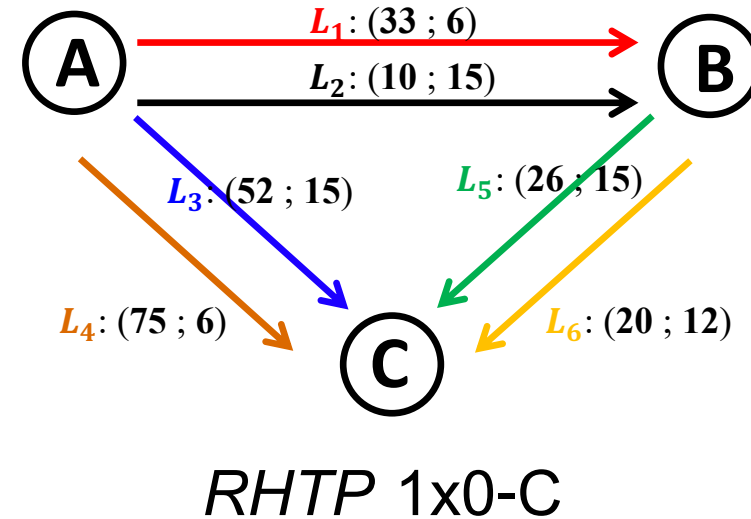
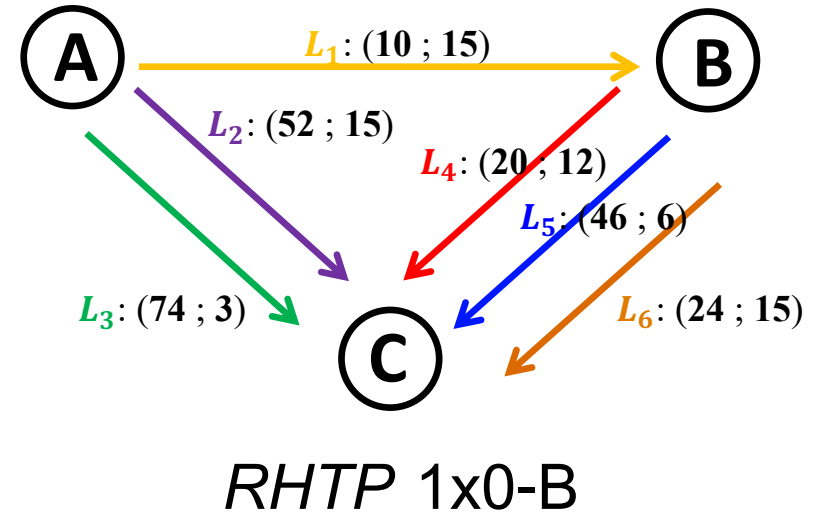
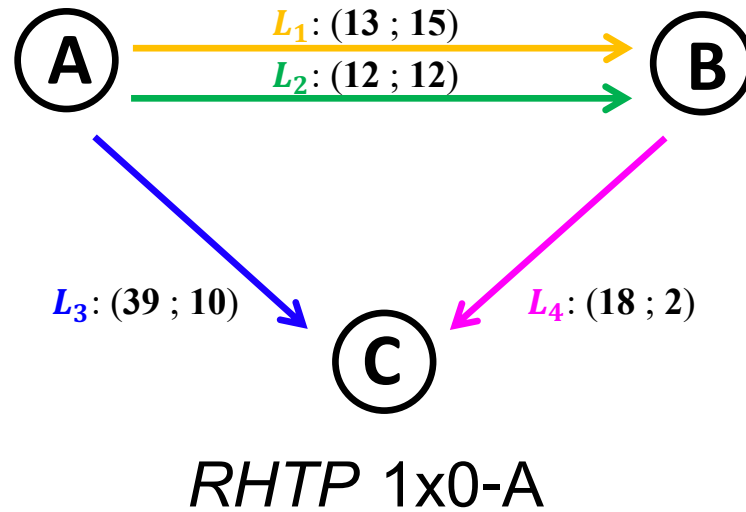
RHTP 0x0-A



RHTP 0x0-B

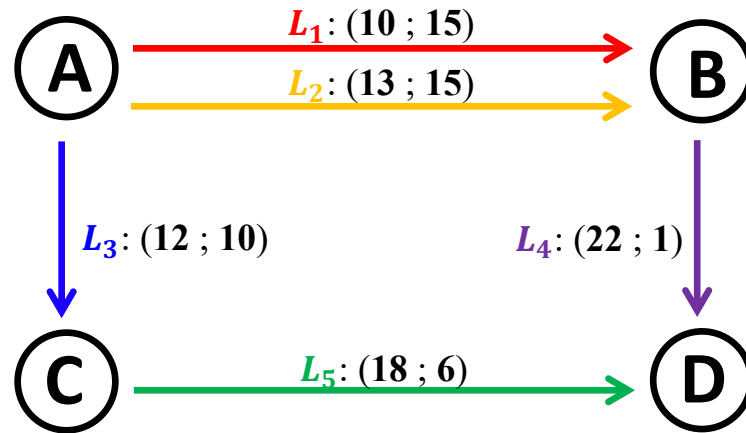
Hyperpath: *PPD*

RHTP 1x0

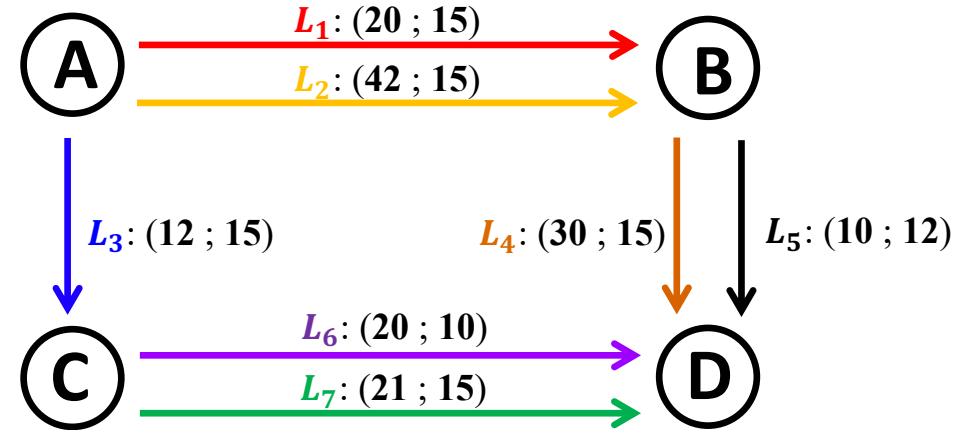


Hyperpath: *PPD*

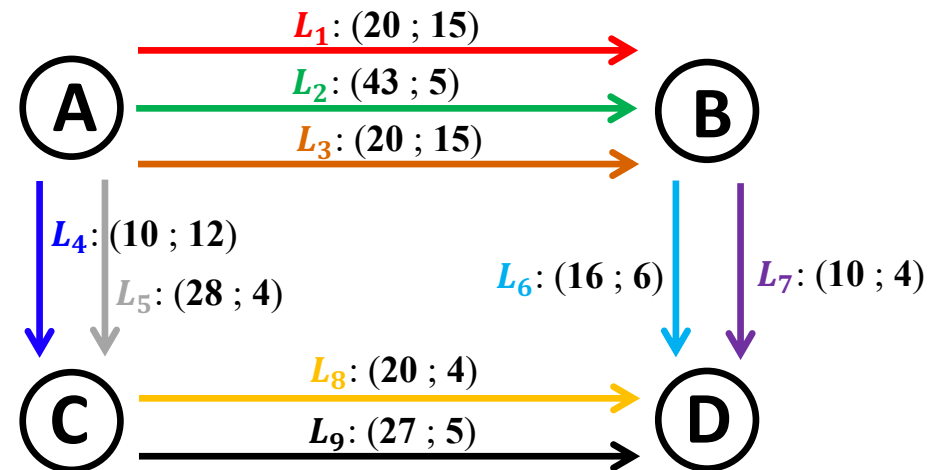
RHTP 1x1



RHTP 1x1-A

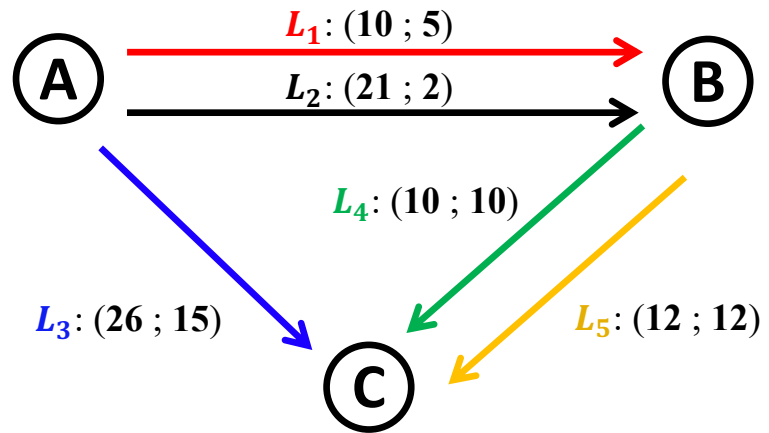


RHTP 1x1-B



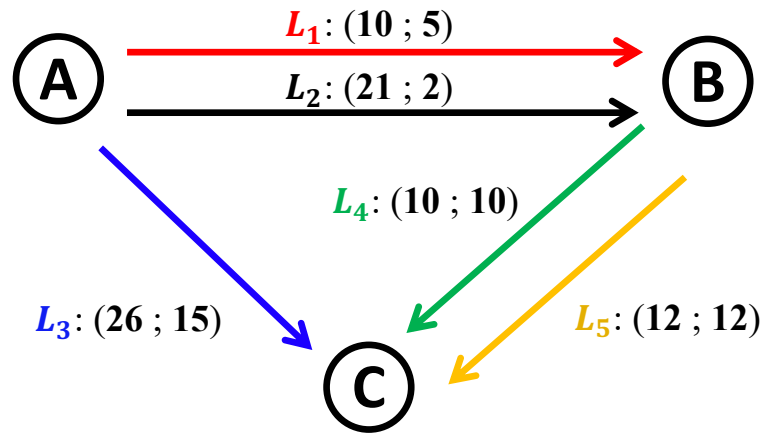
RHTP 1x1-C

Supón que tu objetivo es llegar al paradero C, y cuentas con la siguiente información:



Línea	t_{v-det}	t_{e-prom}	$frec$
L_1	10	5	12
L_2	21	2	30
L_3	26	15	4
L_4	10	10	6
L_5	12	12	5

Supón que tu objetivo es llegar al paradero C, y cuentas con la siguiente información:

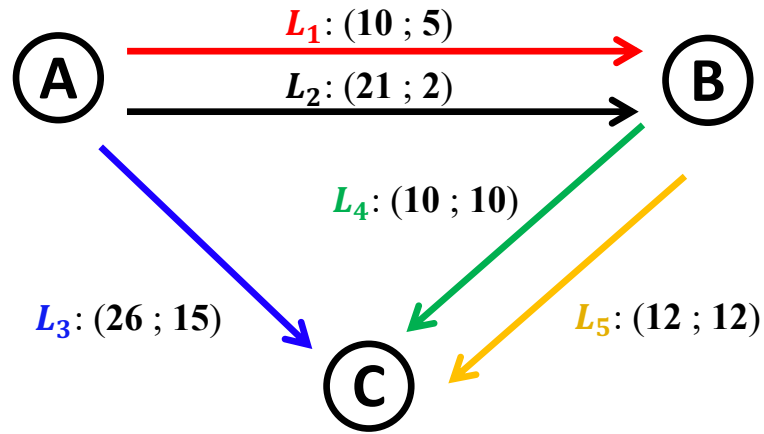


Línea	t_{v-det}	t_{e-prom}	$frec$
L_1	10	5	12
L_2	21	2	30
L_3	26	15	4
L_4	10	10	6
L_5	12	12	5

Si tu objetivo es llegar a C, ¿qué línea(s) utilizarías en A? Puedes marcar más de una opción.

- L_1
- L_2
- L_3

Supón que tu objetivo es llegar al paradero C, y cuentas con la siguiente información:



Línea	t_{v-det}	t_{e-prom}	$frec$
L_1	10	5	12
L_2	21	2	30
L_3	26	15	4
L_4	10	10	6
L_5	12	12	5

Si tu objetivo es llegar a C, ¿qué línea(s) utilizarías en A? Puedes marcar más de una opción.

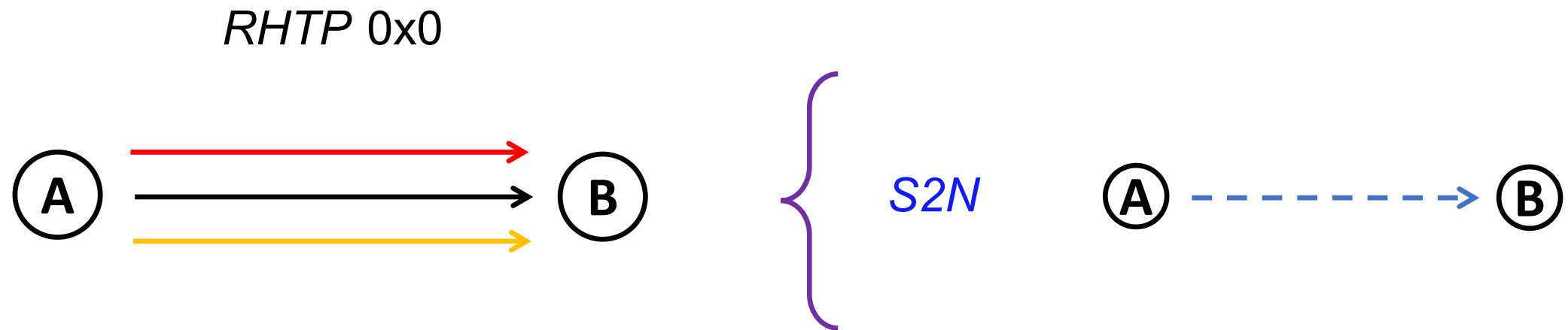
- L_1
- L_2
- L_3

(Esta pregunta es independiente a la anterior)

Si tu objetivo es llegar a C, ¿qué línea(s) utilizarías en B? Puedes marcar más de una opción.

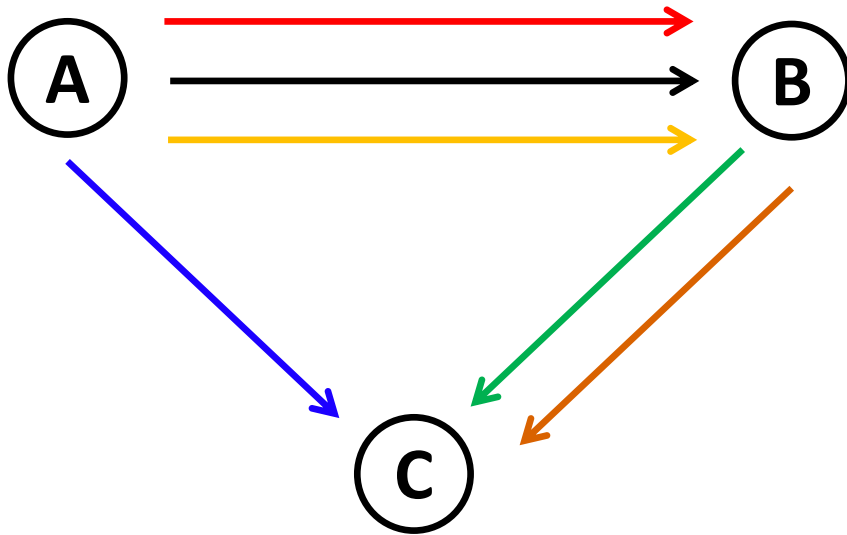
- L_4
- L_5

Hyperpath: *PPD*

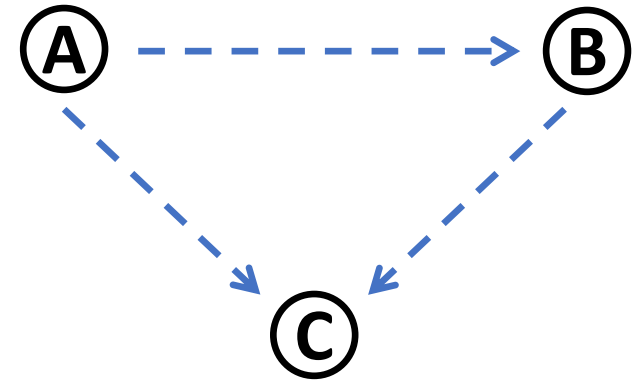


Hyperpath: *PPD*

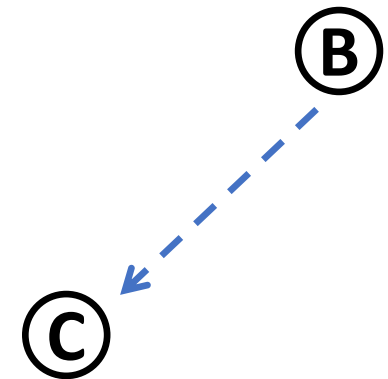
RHTP 1x0



S3N

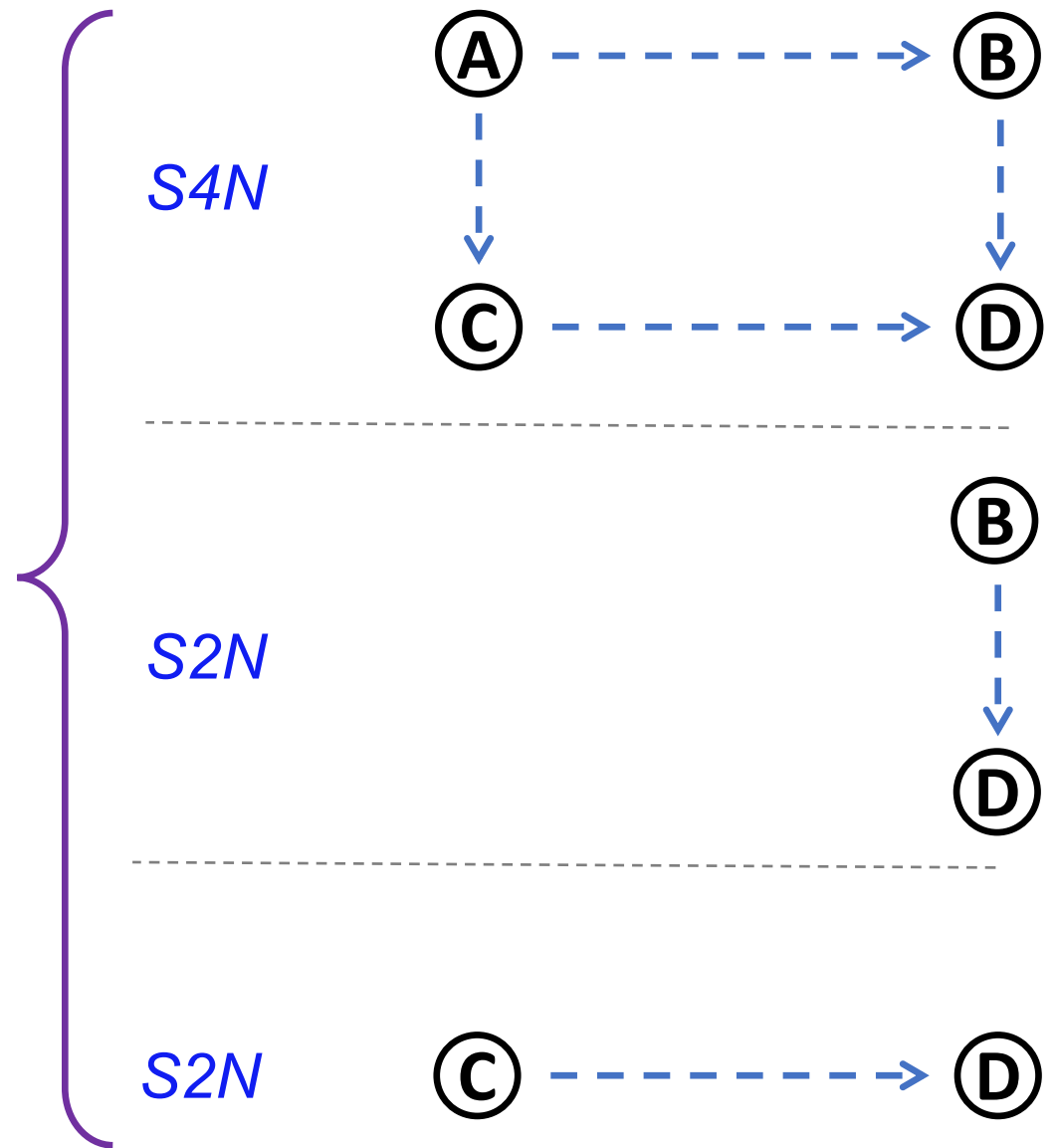
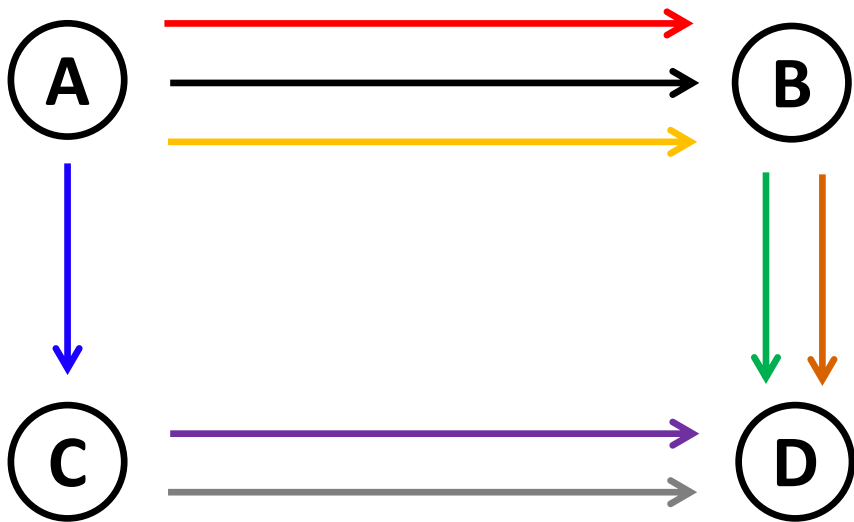


S2N



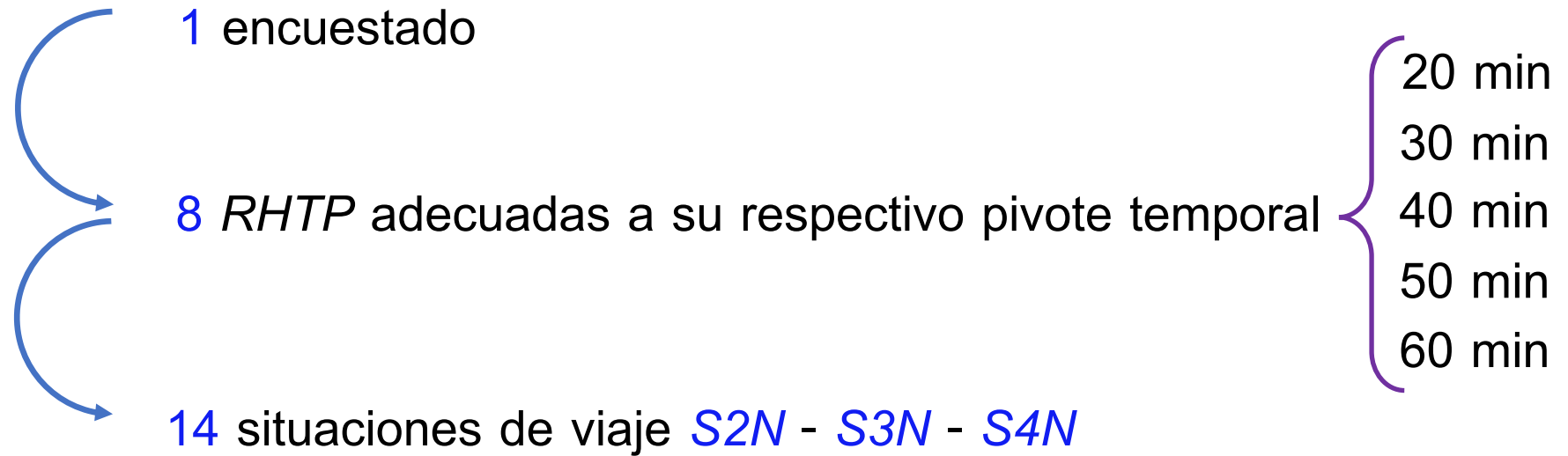
Hyperpath: *PPD*

RHTP 1x1



Hyperpath: *PPD*

En resumen:



Aplicación de la encuesta

Tamaño muestral : 300 personas ($\alpha = 10\%$, $E = 5\%$).

Recolección : octubre y noviembre, 2018.

A partir de este proceso, se generó una base primaria de datos.

Calibración de los datos

La calibración de la base primaria de datos se dividió en dos partes:

- **Depuración** de los datos.

Calibración de los datos

La calibración de la base primaria de datos se dividió en dos partes:

- Depuración de los datos.
- **Validación** de los datos:
 - Encuesta Origen Destino 2012.
 - Encuesta Suplementaria de Ingreso 2017.
 - Censo 2017.

Calibración de los datos

La calibración de la base primaria de datos se dividió en dos partes:

- Depuración de los datos.

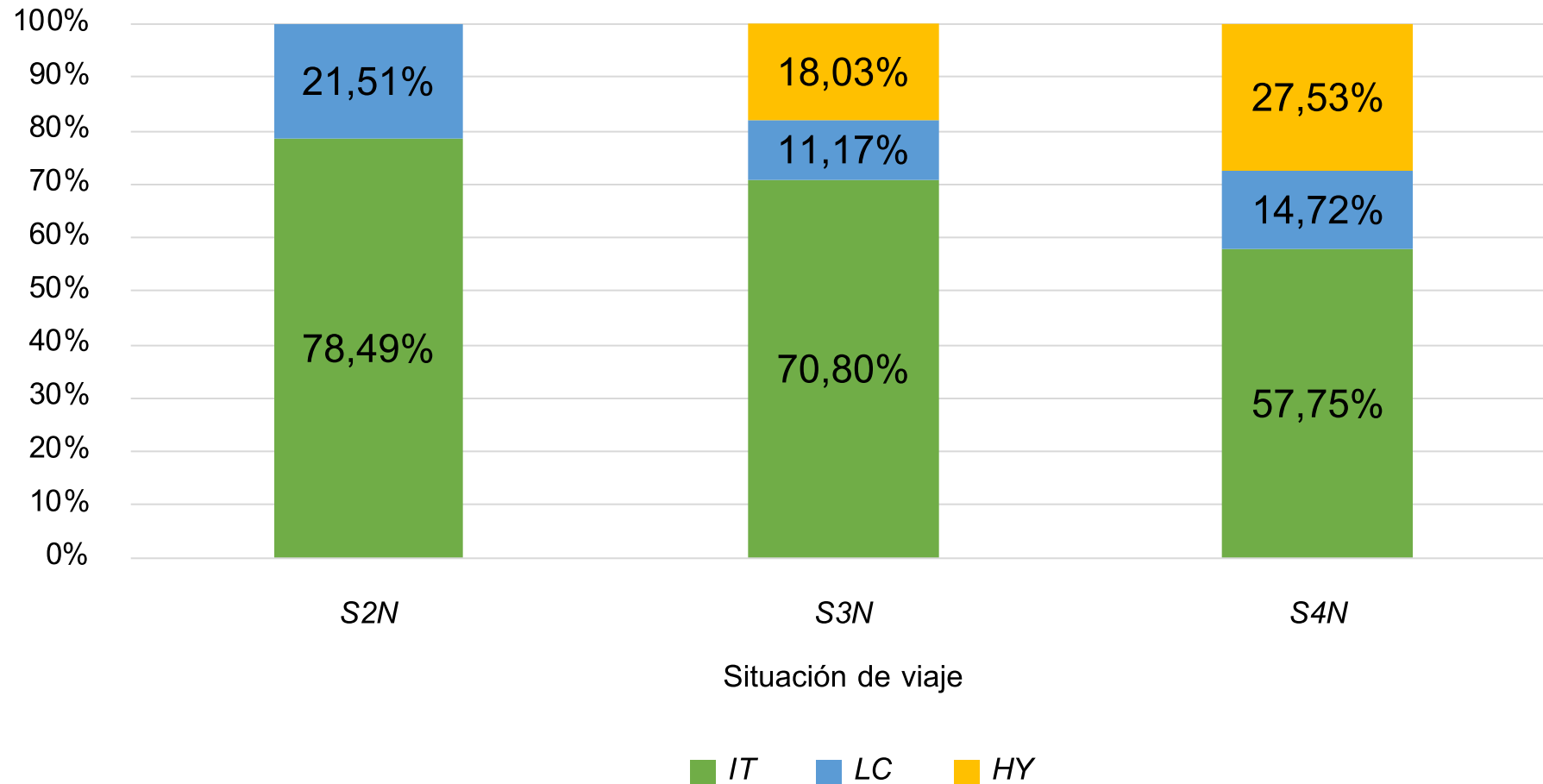
- **Validación** de los datos:

- Encuesta Origen Destino 2012.
- Encuesta Suplementaria de Ingreso 2017.
- Censo 2017.



Factores
de
corrección

Descripción de la muestra: *PPD*





Introducción
y
Discusión

Hipótesis
y
Objetivos

Diseño
y
Aplicación
de encuesta

Capacidad
de minimizar
el *TETV*

Conclusiones



Modelo Logit
Mixto

Modelo Logit de Nidos Cruzados

Cross Nested Logit (Vovsha, 1997¹; Ben-Akiva y Bielarie, 1999²; Papola, 2004³).

Utilizado para generar un modelo de alternativas de viajes con el cual se estimó:

- la **valoración** del t_{e-prom} y del **costo** t_r respecto al t_v sobre las *RHTP*.
- la **correlación** de las **alternativas de viaje** que comparten **líneas de buses**.

¹ Vovsha, P. (1997). Application of cross-nested logit model to mode choice in Tel Aviv, Israel, metropolitan area.

² Ben-Akiva, M., y Bierlaire, M. (1999). Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions.

³ Papola, A. (2004). Some developments on the cross-nested logit model.

Capacidad de minimizar el *TETV*

Del modelo Logit de Nidos Cruzados se obtuvo que, **en promedio**, los encuestados poseen las siguientes **valoraciones**:

- t_{e-prom} : **1,35** min espera / min viaje
- t_r : **16,73** transbordo / min viaje

Capacidad de minimizar el *TETV*

Del modelo Logit de Nidos Cruzados se obtuvo que, **en promedio**, los encuestados poseen las siguientes **valoraciones**:

- t_{e-prom} : **1,35** min espera / min viaje
 - t_r : **16,73** transbordo / min viaje
- Cifras consistentes con valoraciones estimadas en la realidad^{1,2,3}

¹ Abud, I. (2015). Modelos de elección de paradero, modo y ruta para herramientas de planificación de transporte público.

² Batarce, M., Muñoz, J.C., Ortúzar, J. de D., Raveau, S., Mojica, C., & Ríos, R.A. (2015). Use of mixed stated and revealed preference data for crowding valuation on public transport in Santiago, Chile.

³ Navarrete, F. J. (2010). Valoración subjetiva de los tipos de transbordo en transporte público: caso Santiago de Chile .

Capacidad de minimizar el *TETV*

¿ Realmente todos minimizan su *TETV* ?

Capacidad de minimizar el *TETV*

Entre un par O-D:

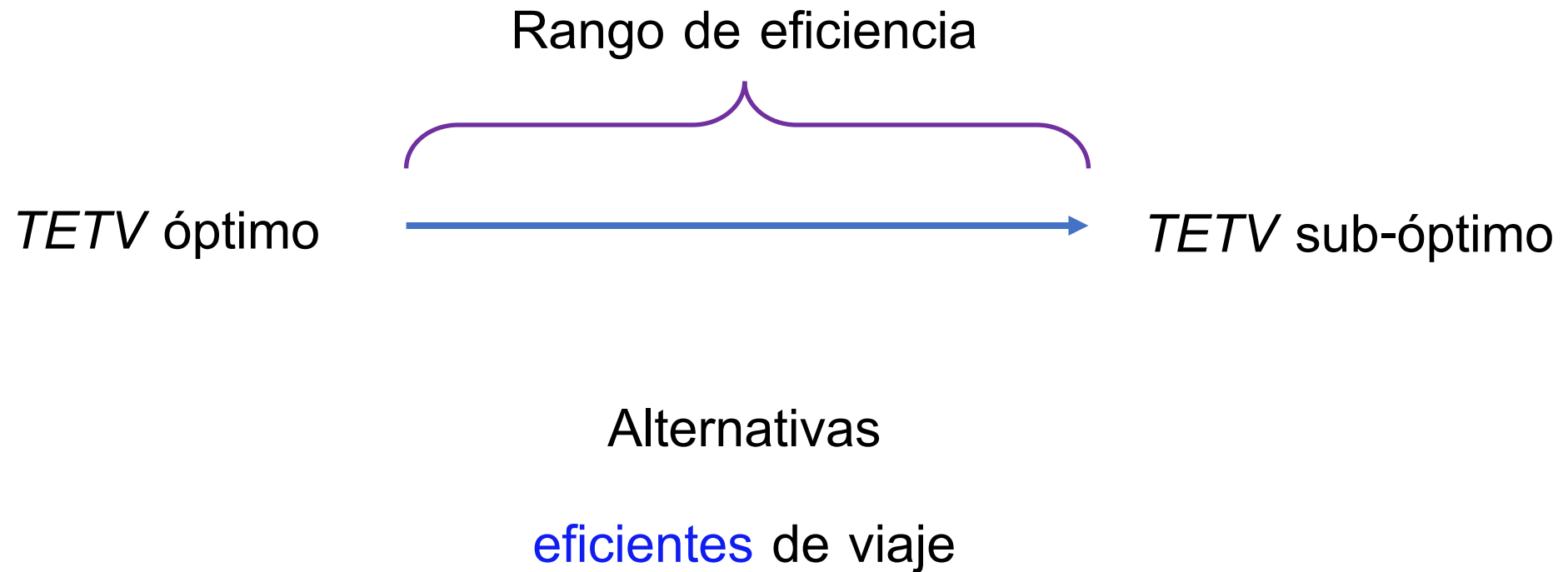
TETV óptimo

Alternativa

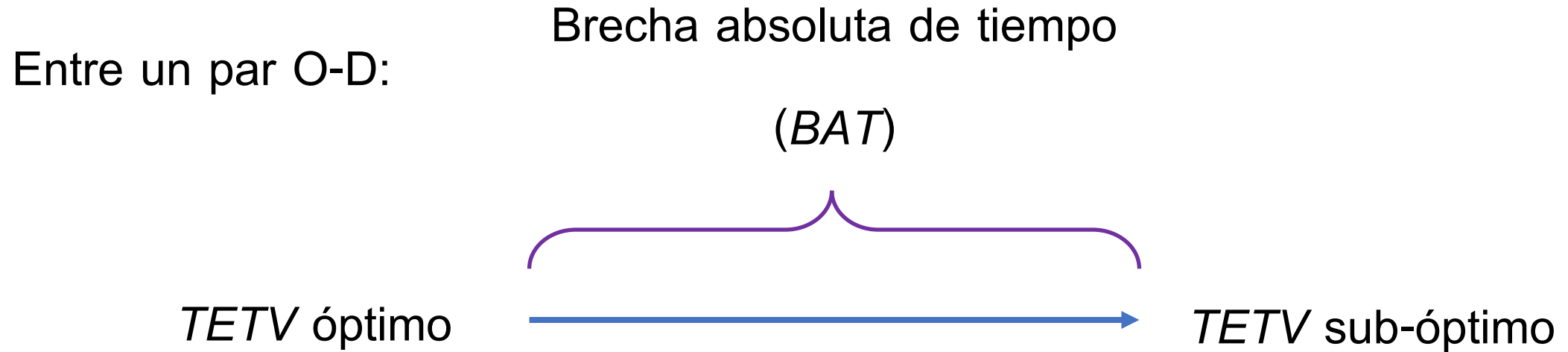
óptima de viaje

Capacidad de minimizar el *TETV*

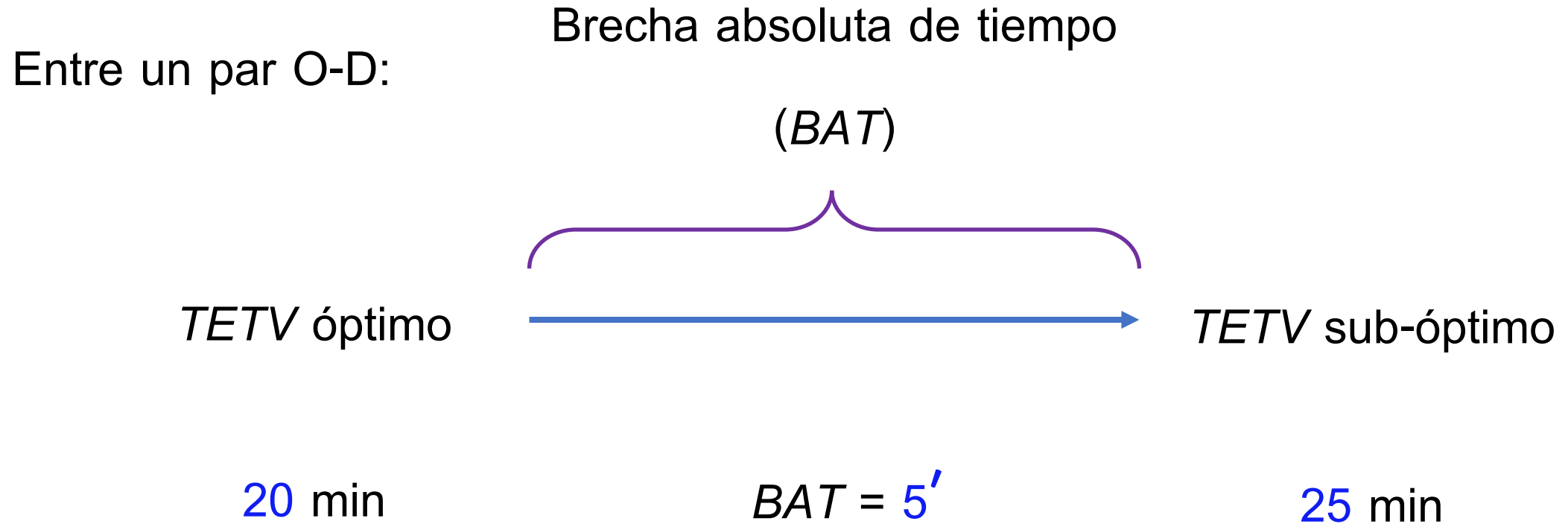
Entre un par O-D:



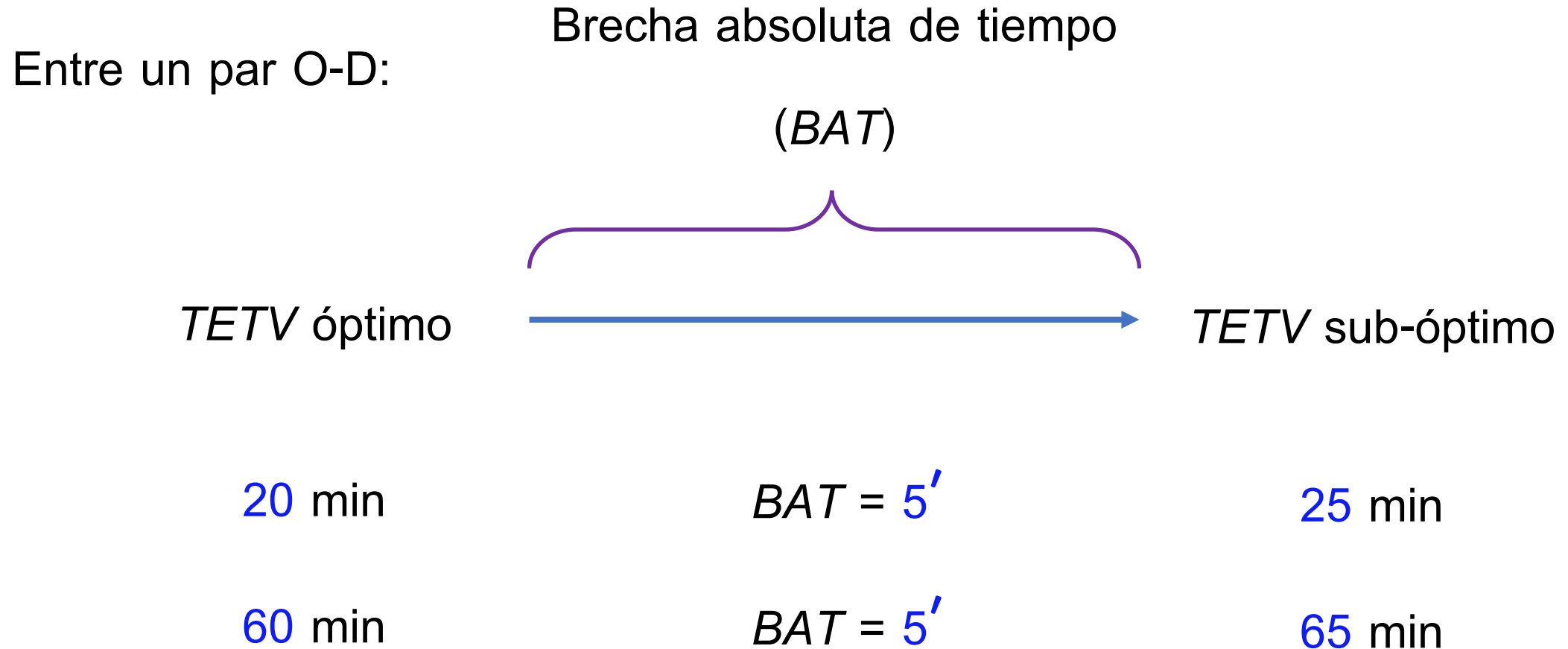
Capacidad de minimizar el *TETV*



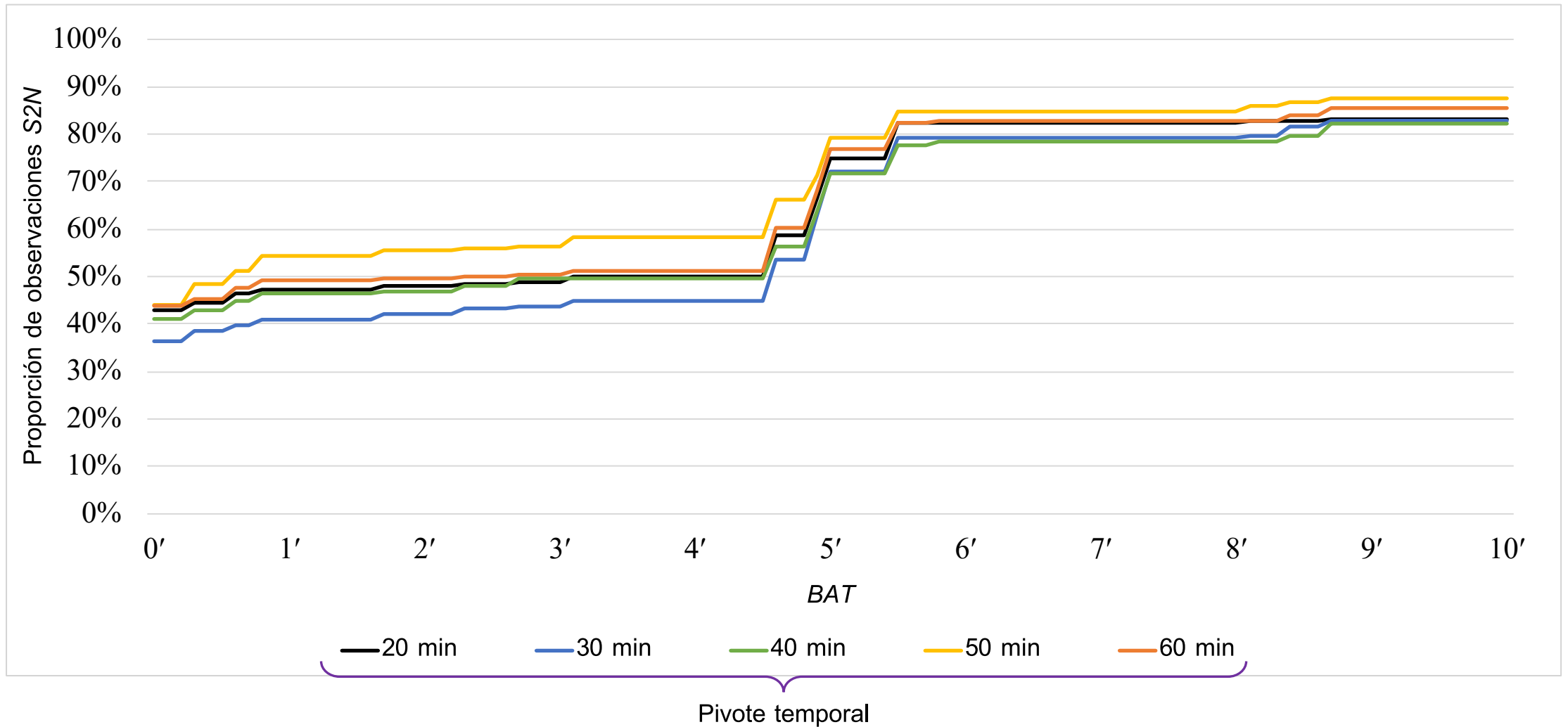
Capacidad de minimizar el *TETV*



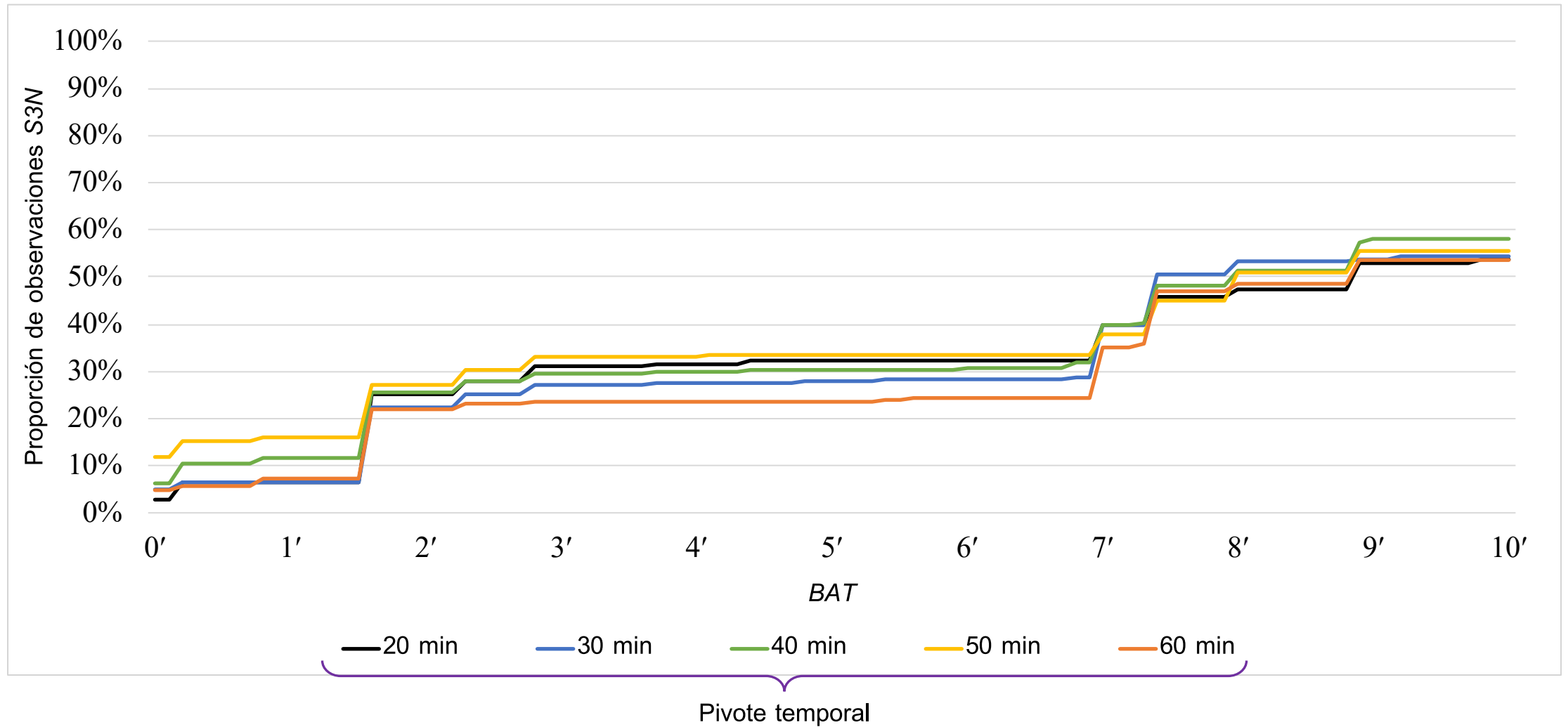
Capacidad de minimizar el *TETV*



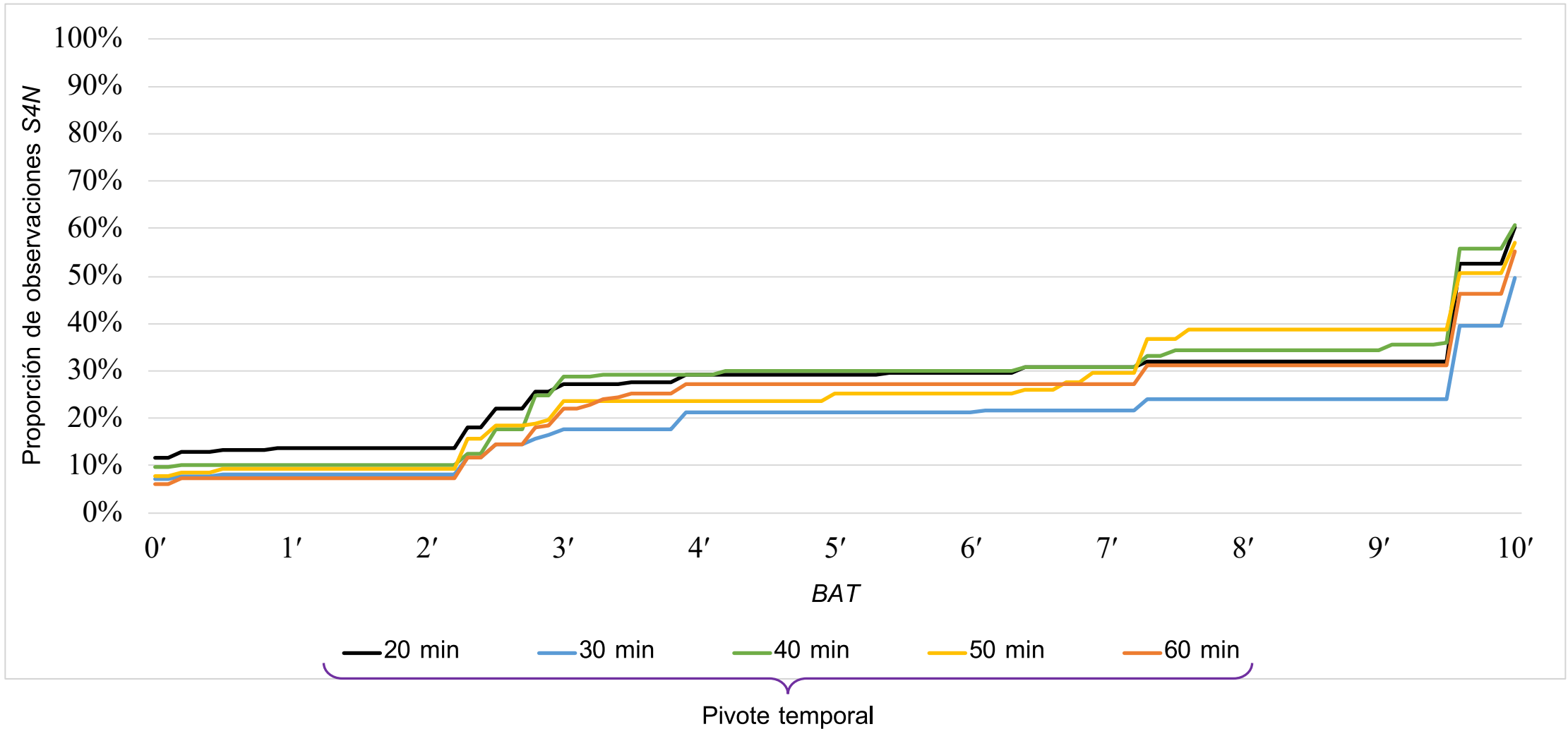
Evolución de la capacidad $S2N$ de minimizar el $TETV$ variando BAT



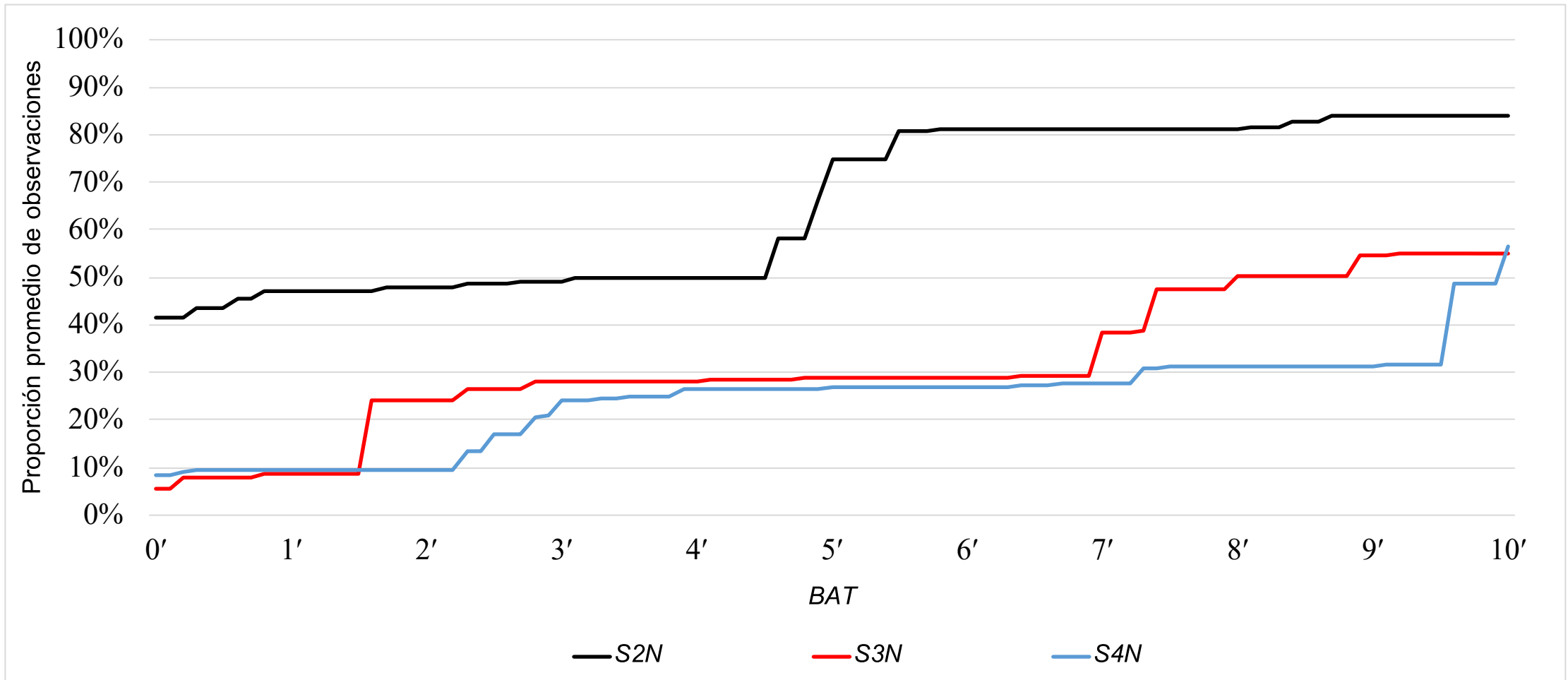
Evolución de la capacidad $S3N$ de minimizar el $TETV$ variando BAT



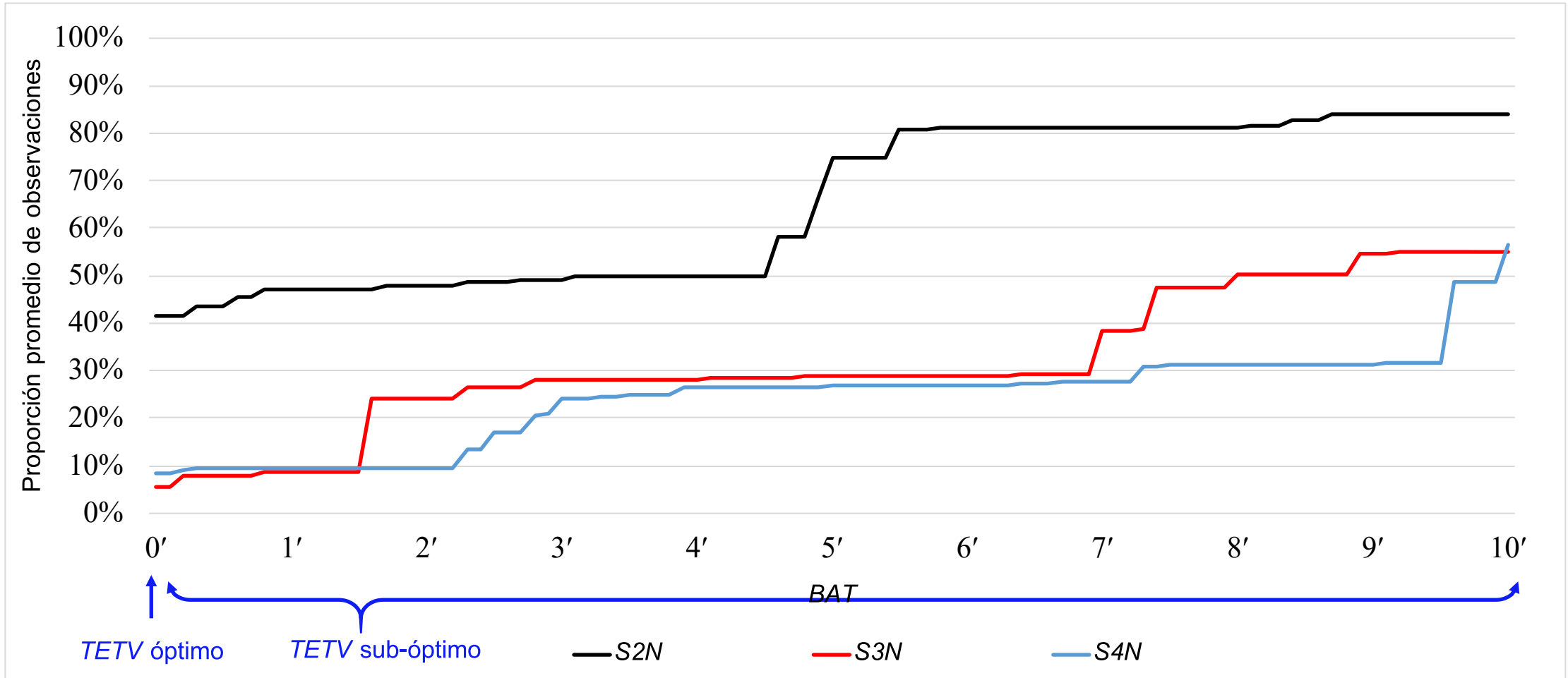
Evolución de la capacidad $S4N$ de minimizar el $TETV$ variando BAT



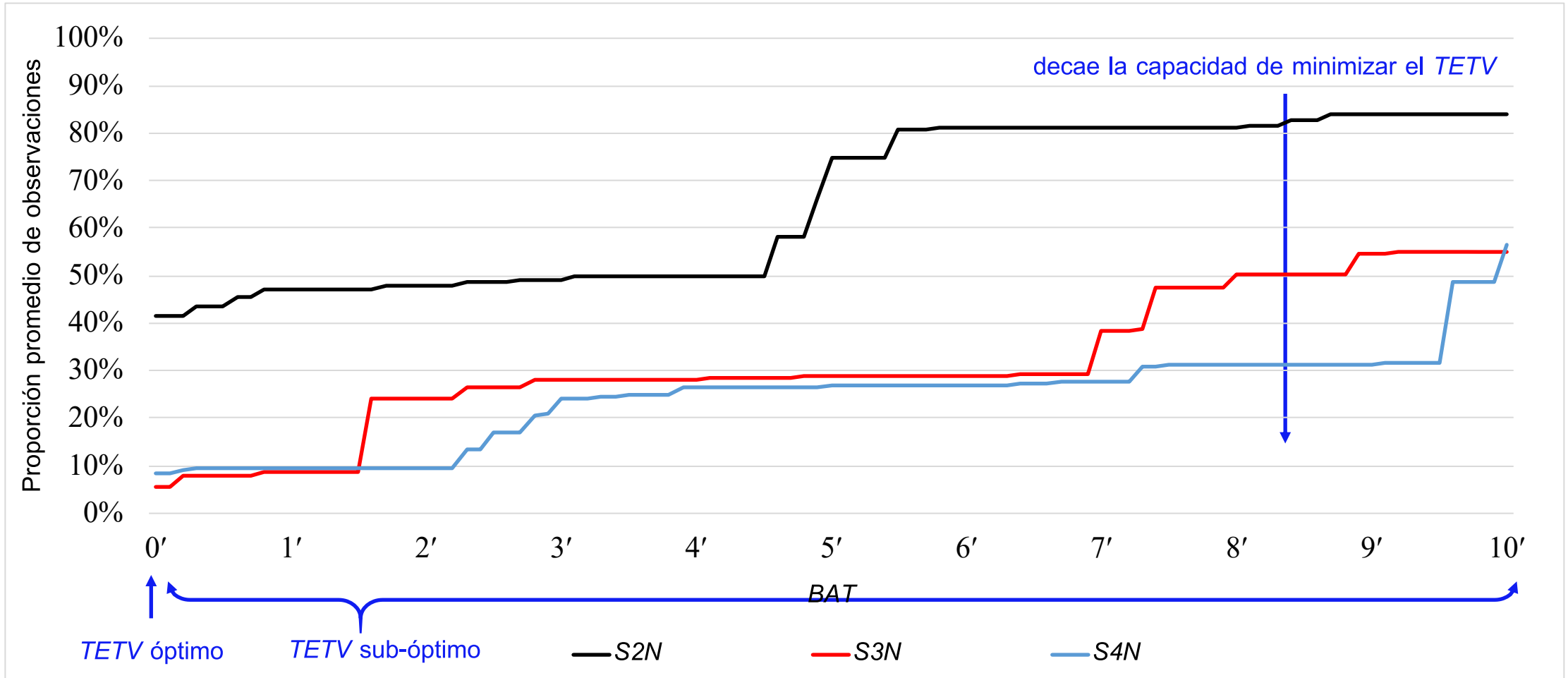
Evolución de la capacidad promedio de minimizar el *TETV* variando *BAT*



Evolución de la capacidad promedio de minimizar el *TETV* variando *BAT*



Evolución de la capacidad promedio de minimizar el *TETV* variando *BAT*



Modelo Logit Mixto

Mixed Logit (McFadden y Train, 2000¹).

- **Correlación** de las respuestas de un mismo individuo q .
- Captar la existencia de **heterogeneidad** en las preferencias.

$$\theta \sim (\bar{\theta}, \sigma_{\theta}^2)$$

¹McFadden, D., y Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response.

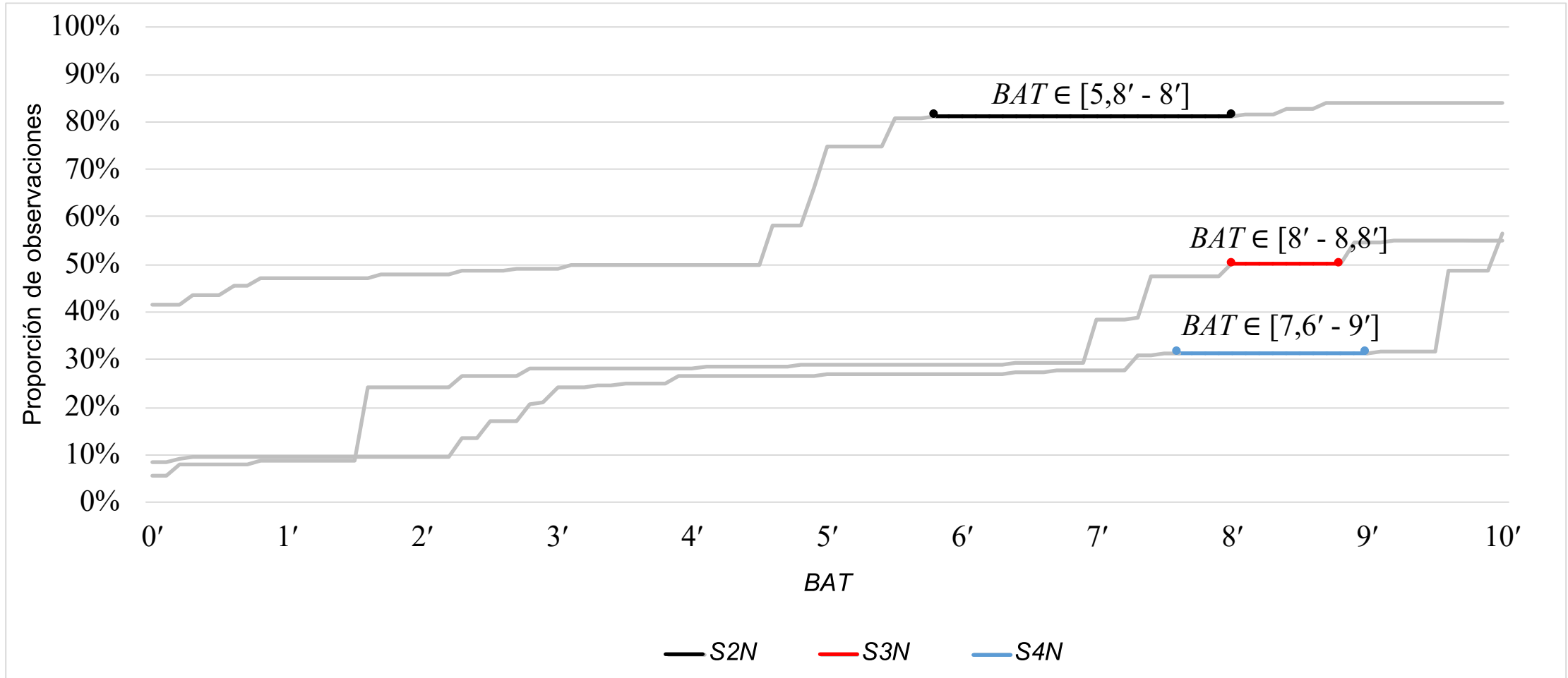
Modelo Logit Mixto

La capacidad de minimizar el $TETV$ fue modelada bajo dos alternativas:

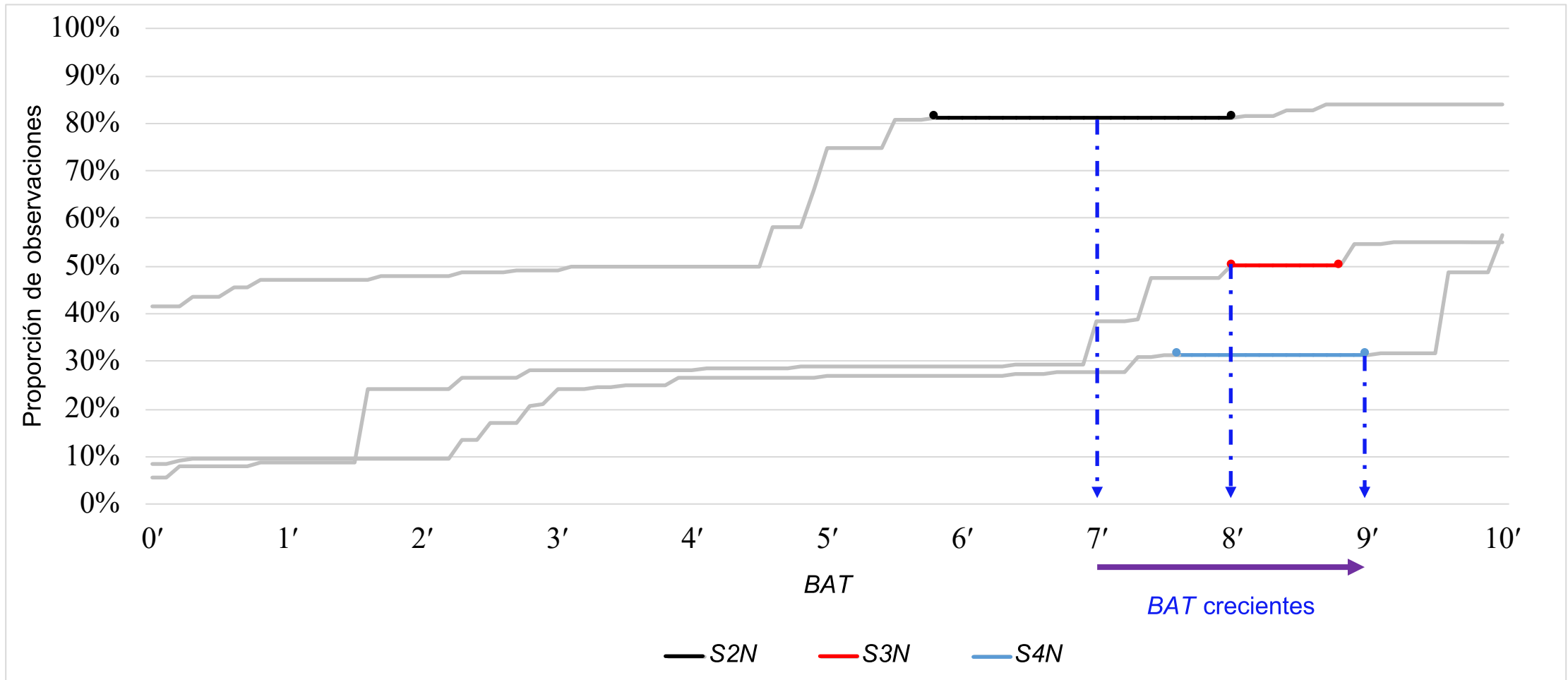
- Sí minimiza $TETV$
- No minimiza $TETV$

Se buscaron valores de BAT para $S2N$, $S3N$ y $S4N$ que permiten describir de mejor manera los factores que influyen sobre dicha capacidad.

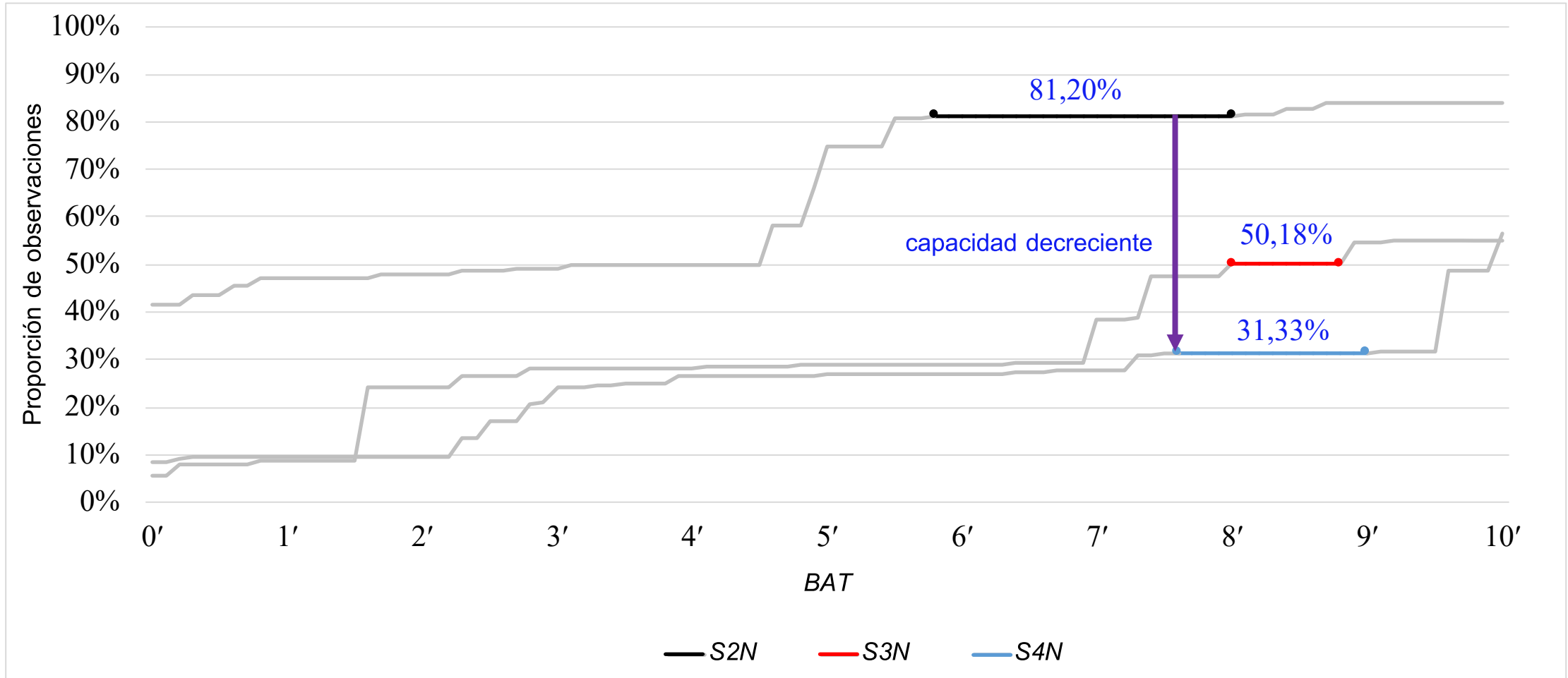
BAT seleccionados para generar modelo Logit Mixto



BAT seleccionados para generar modelo Logit Mixto



BAT seleccionados para generar modelo Logit Mixto



Modelo Logit Mixto

$$\begin{aligned} V_{SI,q} = & ASC_{SI}^{S2N} \cdot \delta_q^{S2N} + ASC_{SI}^{S3N} \cdot \delta_q^{S3N} + ASC_{SI}^{S4N} \cdot \delta_q^{S4N} \\ & + \beta_{ED} \cdot ED_q + \beta_{IA} \cdot IA_q \\ & - \exp(\overline{\beta_{Edad}} + \sigma_{Edad}^2 \cdot \xi) \cdot \ln(Edad_q) \\ & + \exp(\overline{\beta_{PPSI}} + \sigma_{PPSI}^2 \cdot \xi) \cdot \frac{(PPSI)_q^{\gamma_{PPSI}} - 1}{\gamma_{PPSI}} \\ & + \beta_{BT} \cdot BT_q + \beta_M \cdot M_q + \beta_{TC} \cdot TC_q \end{aligned}$$

$$V_{NO,q} = 0$$

Modelo Logit Mixto

Demoró 1,25 horas en converger, y su log-verosimilitud es -2.151,312.

$\hat{\beta}$	Valor	Test-t / 0
ASC_{SI}^{S2N}	3,62	3,76
ASC_{SI}^{S3N}	0,961	1,73
ASC_{SI}^{S4N}	0,0621	0,13
β_{PPSI-m}	0 (fijo)	-
β_{PPSI-s}	1,58	4,67
γ_{PPSI}	0,868	2,18

$\hat{\beta}$	Valor	Test-t / 0
β_{E-m}	-1,9	-1,95
β_{E-s}	0,974	2,2
β_{ED}	0,522	3,94
β_{IA}	0,507	1,69
β_{BT}	0,248	1,94
β_M	0,241	1,82
β_{TC}	-0,466	-2,34

Modelo Logit Mixto

La probabilidad de minimizar el *TETV* es mayor para aquellos que:

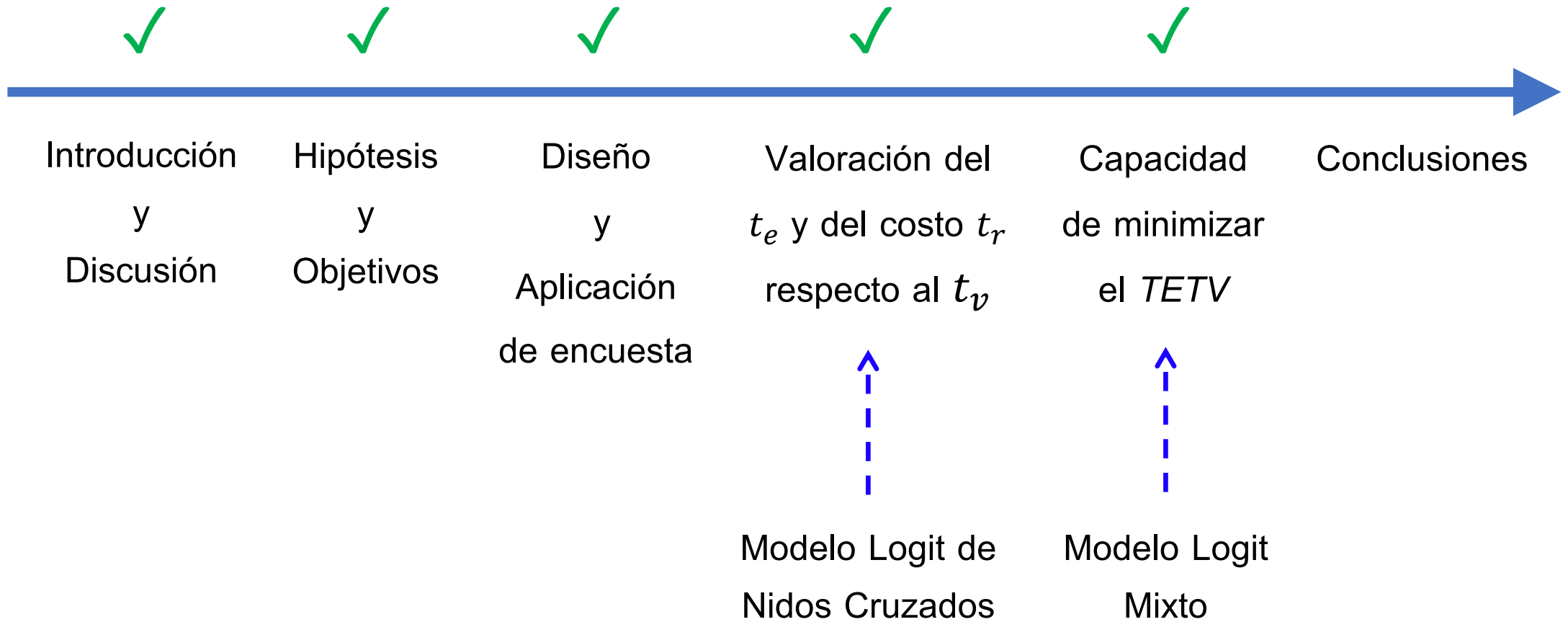
- Poseen estudios universitarios o postgrado
 - Perciben un ingreso mayor a \$1.550.000
 - Viajan frecuentemente usando bus de Transantiago
 - Viajan frecuentemente usando Metro
 - No utilizan habitualmente taxi colectivo
- } vs caso contrario

Modelo Logit Mixto

Además, el modelo indicó que dicha probabilidad:

- **Disminuye** mientras se **eleva** la **edad** bajo una **transformación logarítmica**.
- **Aumenta** a mayor puntaje **PSI**.

En tales variables se captó **heterogeneidad** bajo una distribución **Log-Normal**.



Conclusiones

De acuerdo al comportamiento de los encuestados, se desprende que:

- No todos utilizan el mismo tipo de alternativa de viaje.

Conclusiones

De acuerdo al comportamiento de los encuestados, se desprende que:

- No todos utilizan el mismo tipo de alternativa de viaje.
- No todos poseen la capacidad de minimizar el *TETV*.

Conclusiones

De acuerdo al comportamiento de los encuestados, se desprende que:

- No todos utilizan el mismo tipo de alternativa de viaje.
- No todos poseen la capacidad de minimizar el *TETV*.
- Dicha capacidad es decreciente a mayor complejidad de la situación de viaje.

Conclusiones

De acuerdo al comportamiento de los encuestados, se desprende que:

- No todos utilizan el mismo tipo de alternativa de viaje.
- No todos poseen la capacidad de minimizar el *TETV*.
- Dicha capacidad es decreciente a mayor complejidad de la situación de viaje.
- Los factores socioeconómicos y cognitivos impactan sobre tal capacidad.

Limitación general del estudio

Ahora bien, al haber utilizado el enfoque hipotético (*RHTP*), es posible que los resultados no sean totalmente replicables en la realidad.

No obstante, se puede argumentar que el enfoque hipotético entrega una cota máxima del comportamiento que se podría captar en la realidad.

Relevancia del estudio

La **suposición** que suele utilizar la literatura en torno a que todos los viajeros minimizan su *TETV* no es adecuada, puesto que el comportamiento de los encuestados no es estrictamente **homogéneo**, **óptimo**, ni **complejo**.

FIN

Carlos Céspedes - Sebastián Raveau

07 octubre 2019



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE
TRANSPORTE Y LOGÍSTICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CCIT19
SANTIAGO

Impacto de los factores socioeconómicos y cognitivos en la optimalidad de rutas de viaje en transporte público

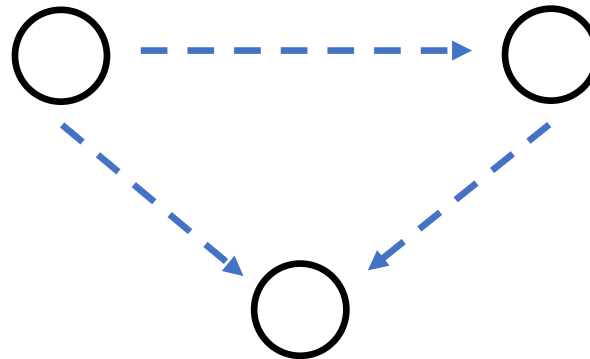
Carlos Céspedes - Sebastián Raveau

07 octubre 2019

Capacidad de minimizar el *TETV*

Pueden existir personas que para *S3N* decidan:

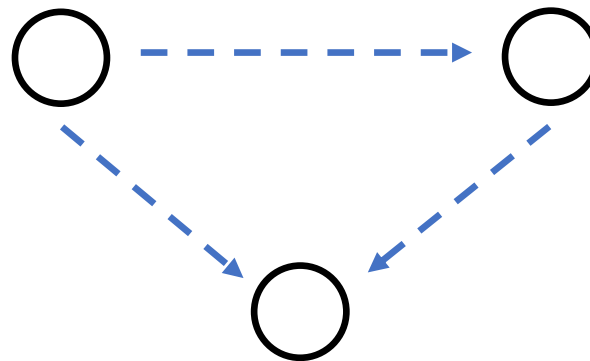
- Minimizar su *TETV*.
- Minimizar la realización de transbordos.
- Compensar ambas minimizaciones.



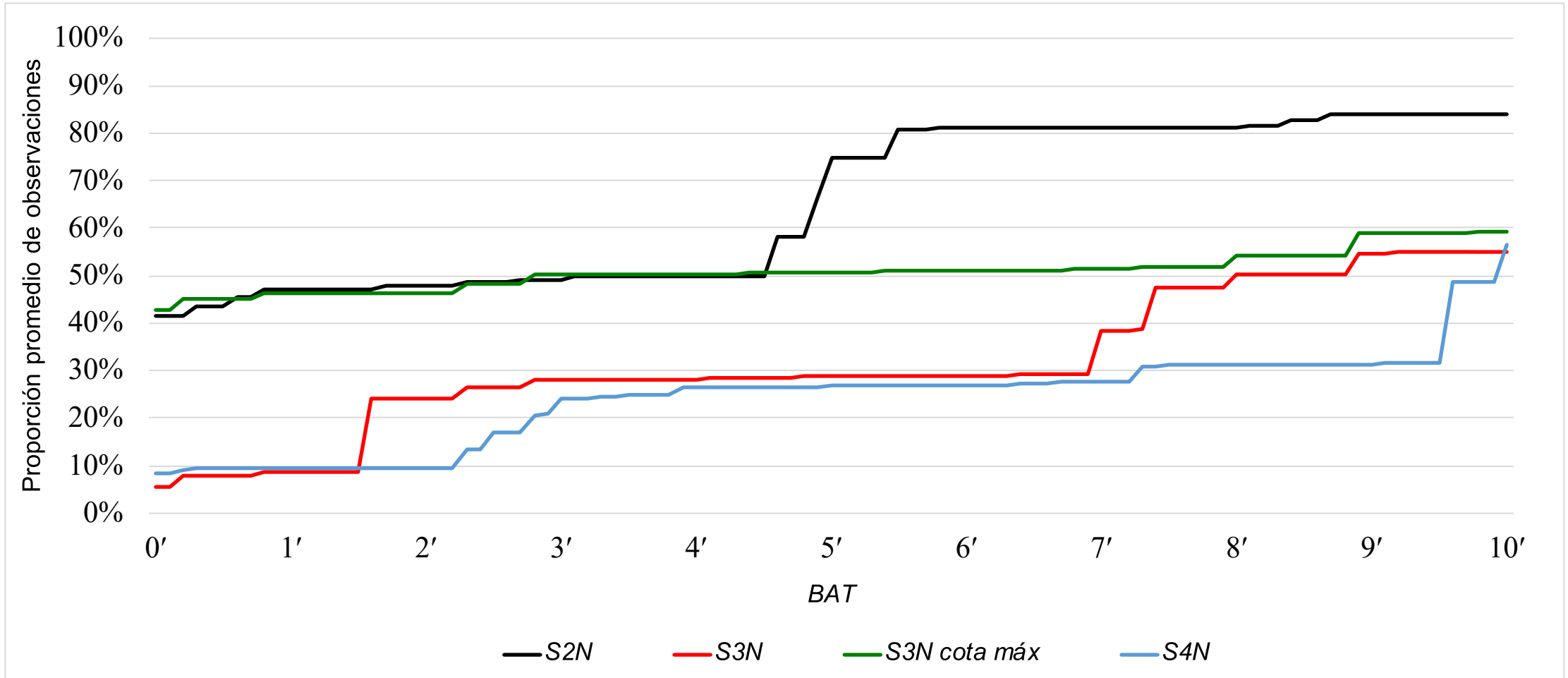
Capacidad de minimizar el *TETV*

Pueden existir personas que para *S3N* decidan:

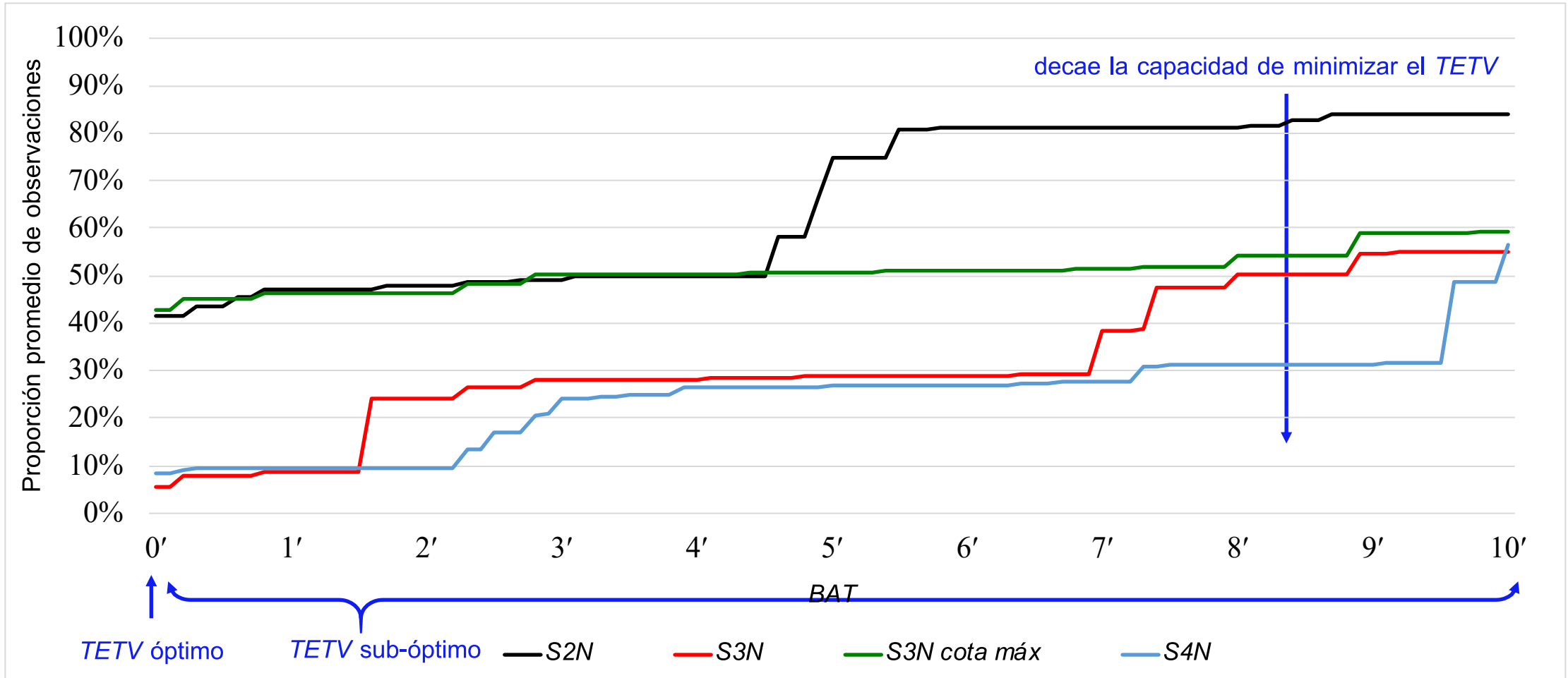
- Minimizar su *TETV*.
- Minimizar la realización de transbordos. } Quizás también tengan la
- Compensar ambas minimizaciones. } capacidad de minimizar su *TETV*



Evolución de la capacidad promedio de minimizar el *TETV* variando *BAT*



Evolución de la capacidad promedio de minimizar el *TETV* variando *BAT*

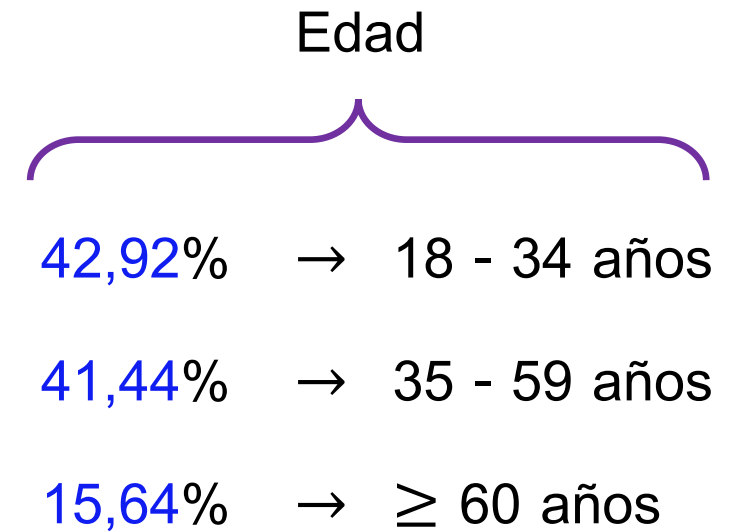
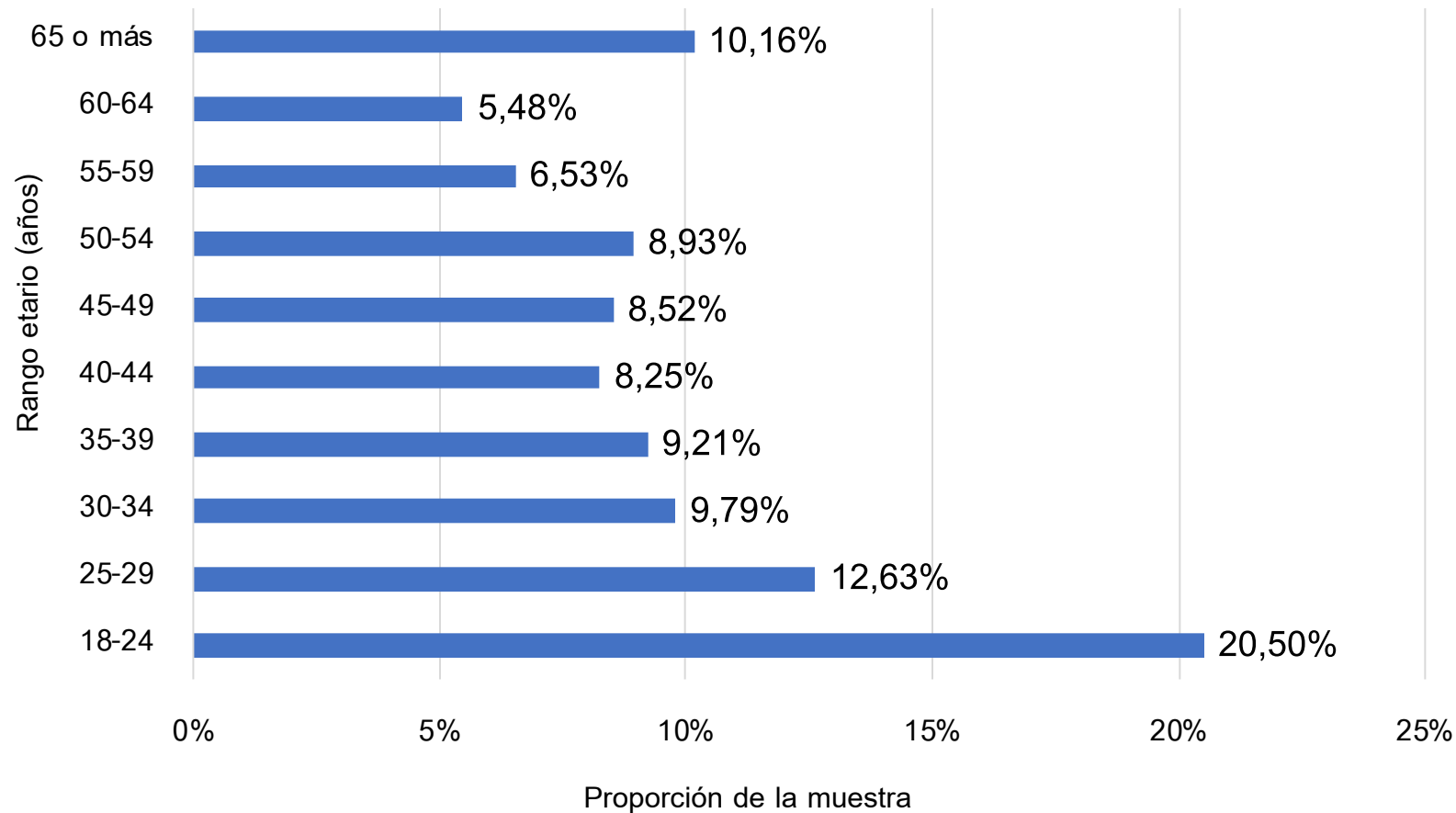


Descripción de la muestra: *PS*

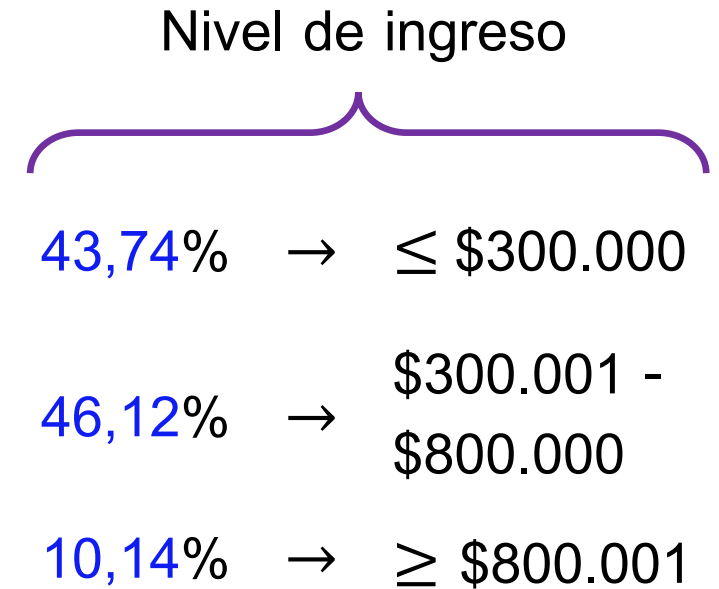
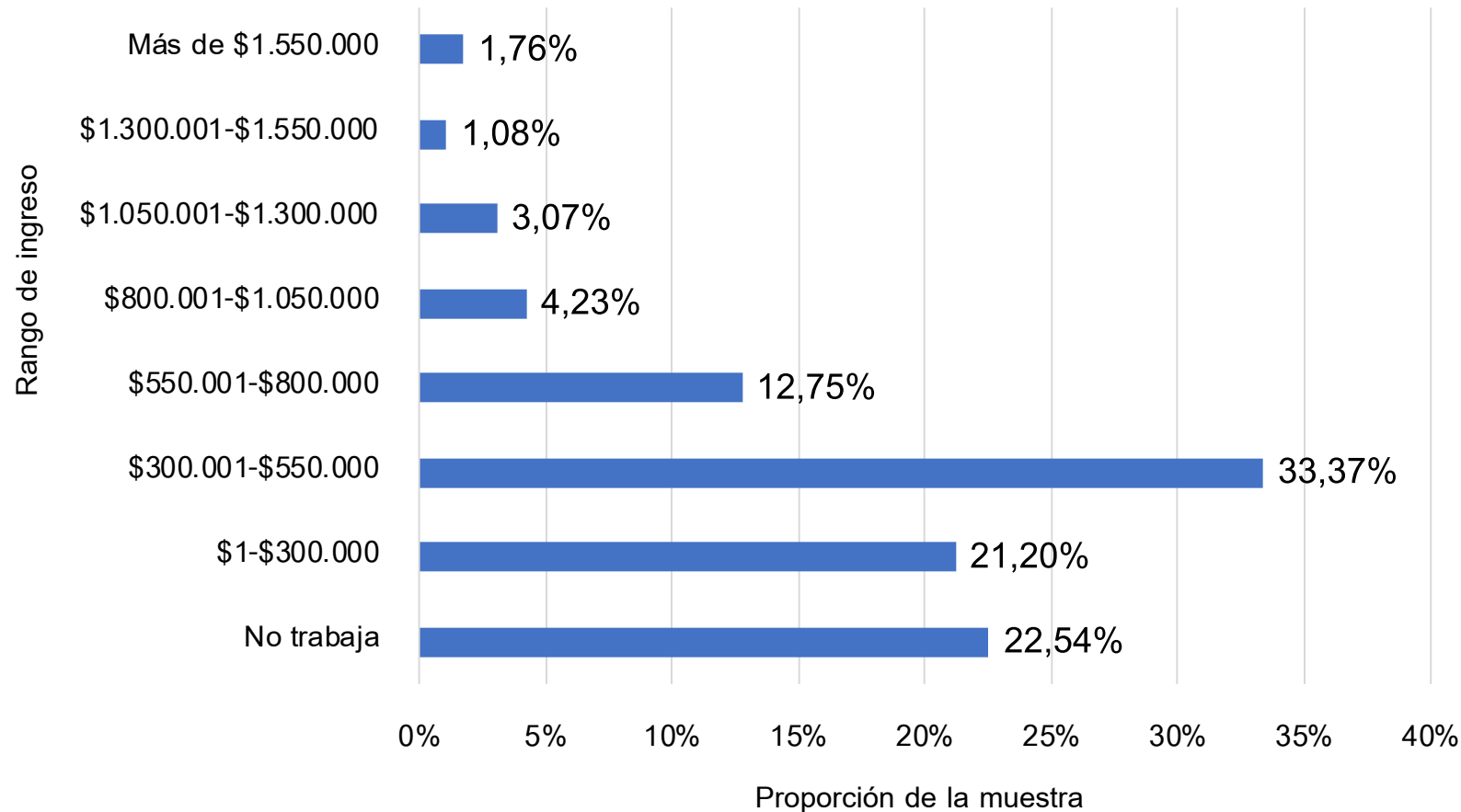
Sexo { 54,48% → femenino
45,52% → masculino

Ocupación { 58,21% → trabajador(a)
22,20% → estudiante
9,49% → jubilado(a)
6,46% → dueño(a) de casa
3,64% → cesante

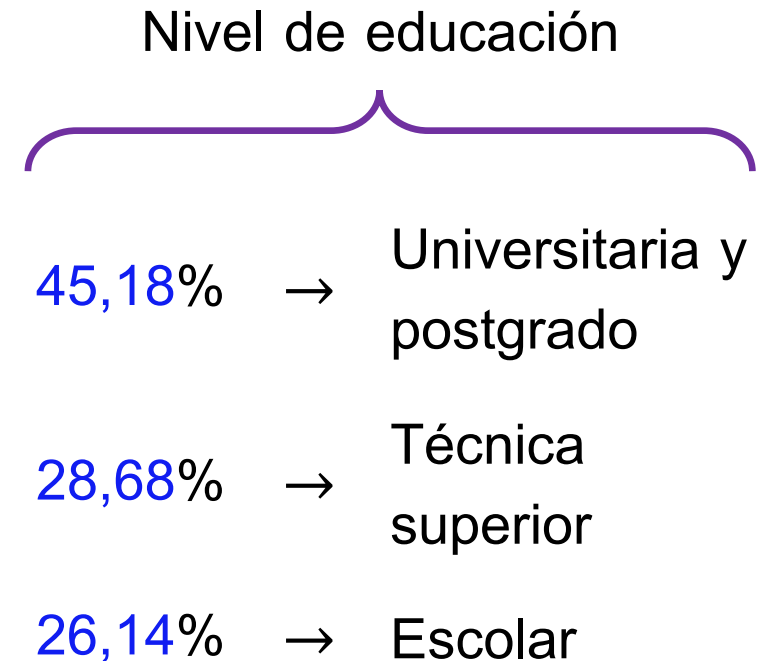
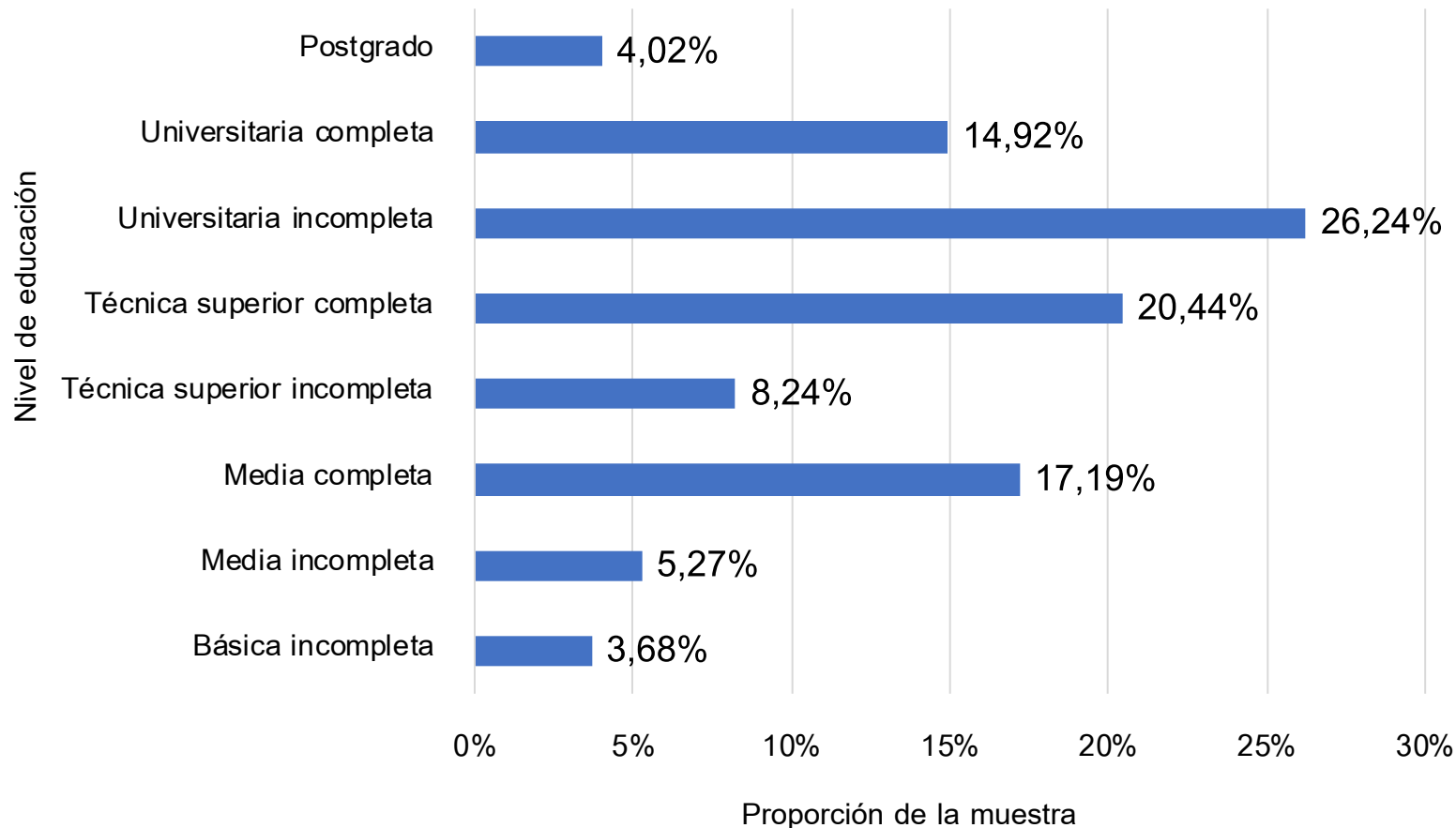
Descripción de la muestra: *PS*



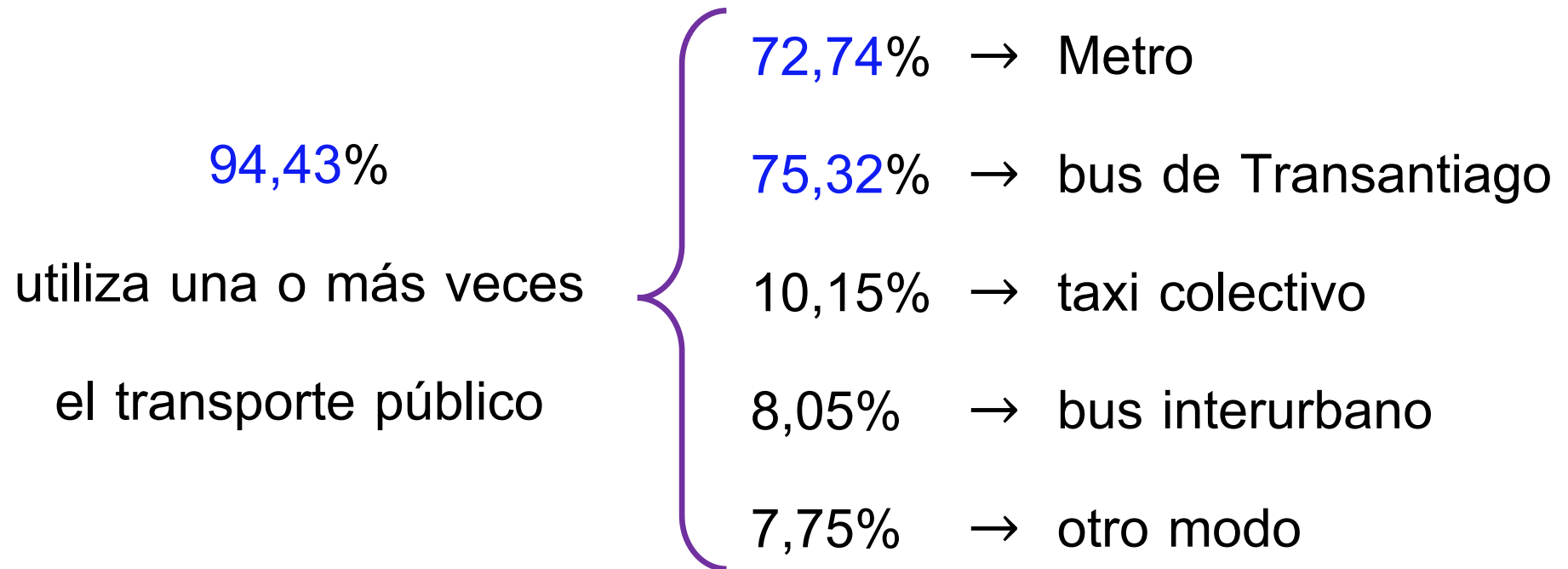
Descripción de la muestra: *PS*



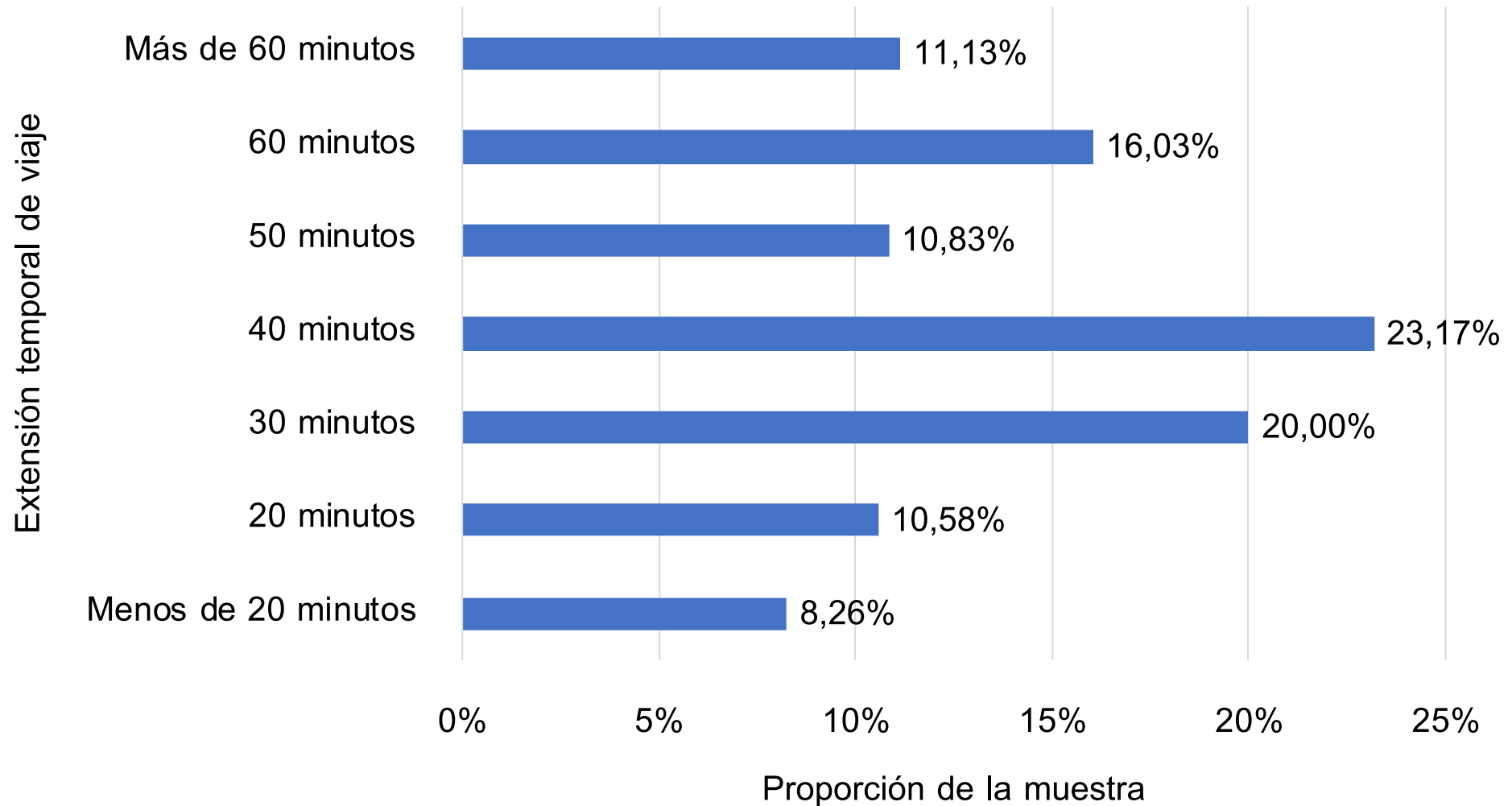
Descripción de la muestra: *PS*



Descripción de la muestra: *PPR*



Descripción de la muestra: *PPR*

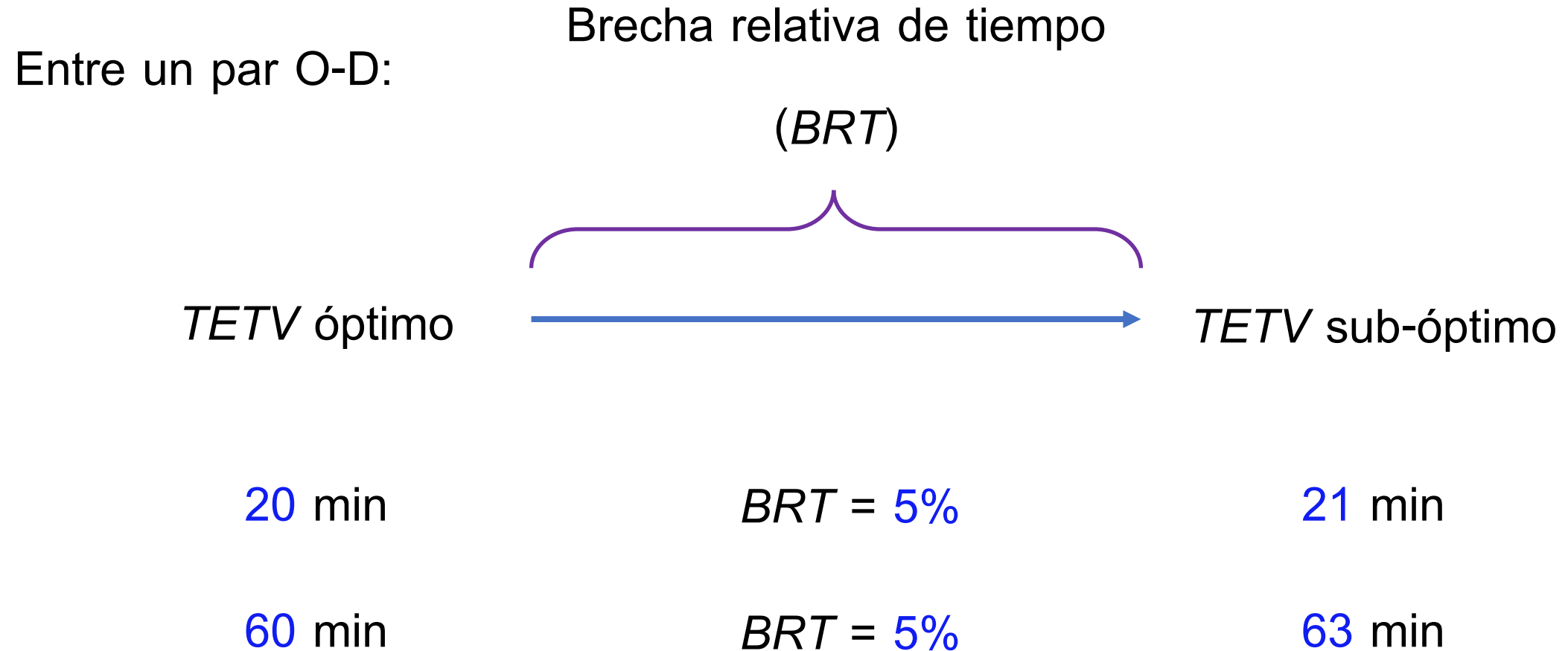


Capacidad de minimizar el *TETV*

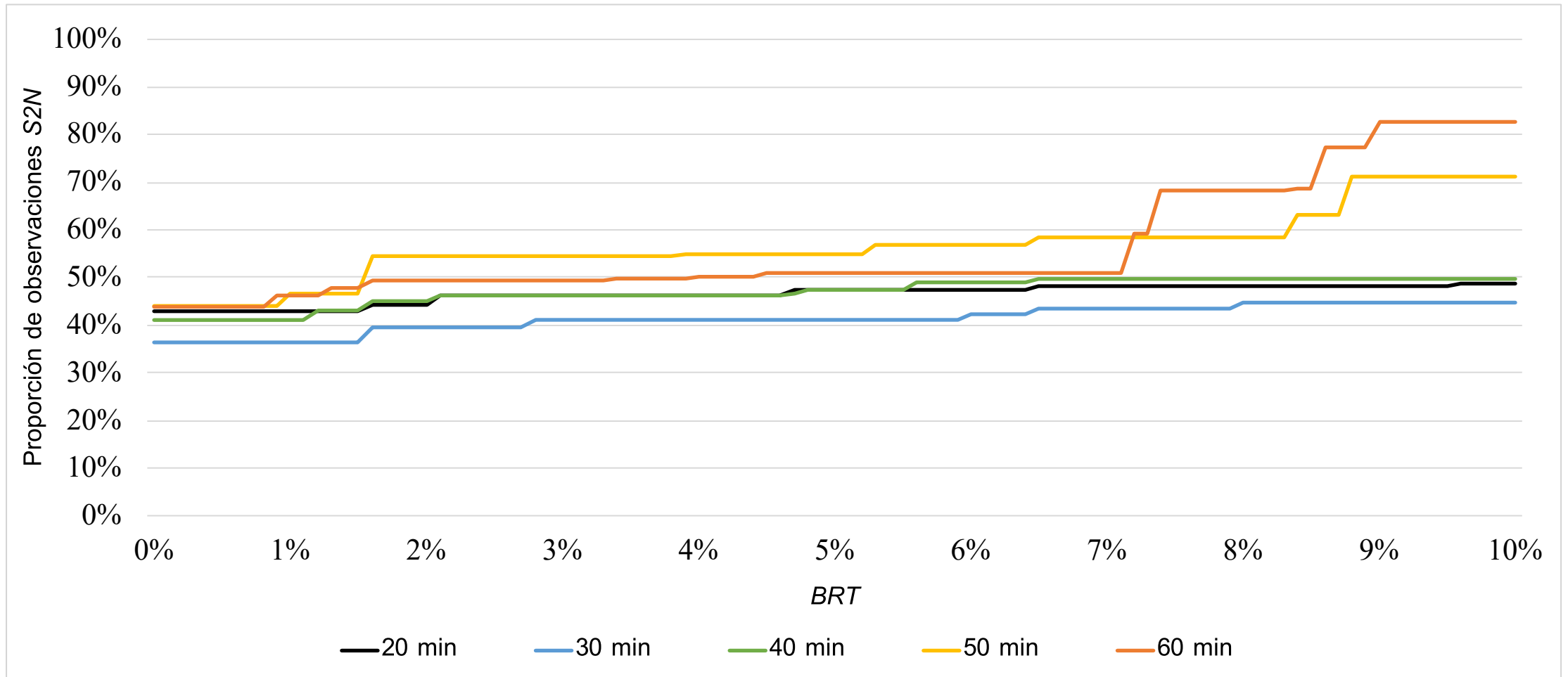
Entre un par O-D:



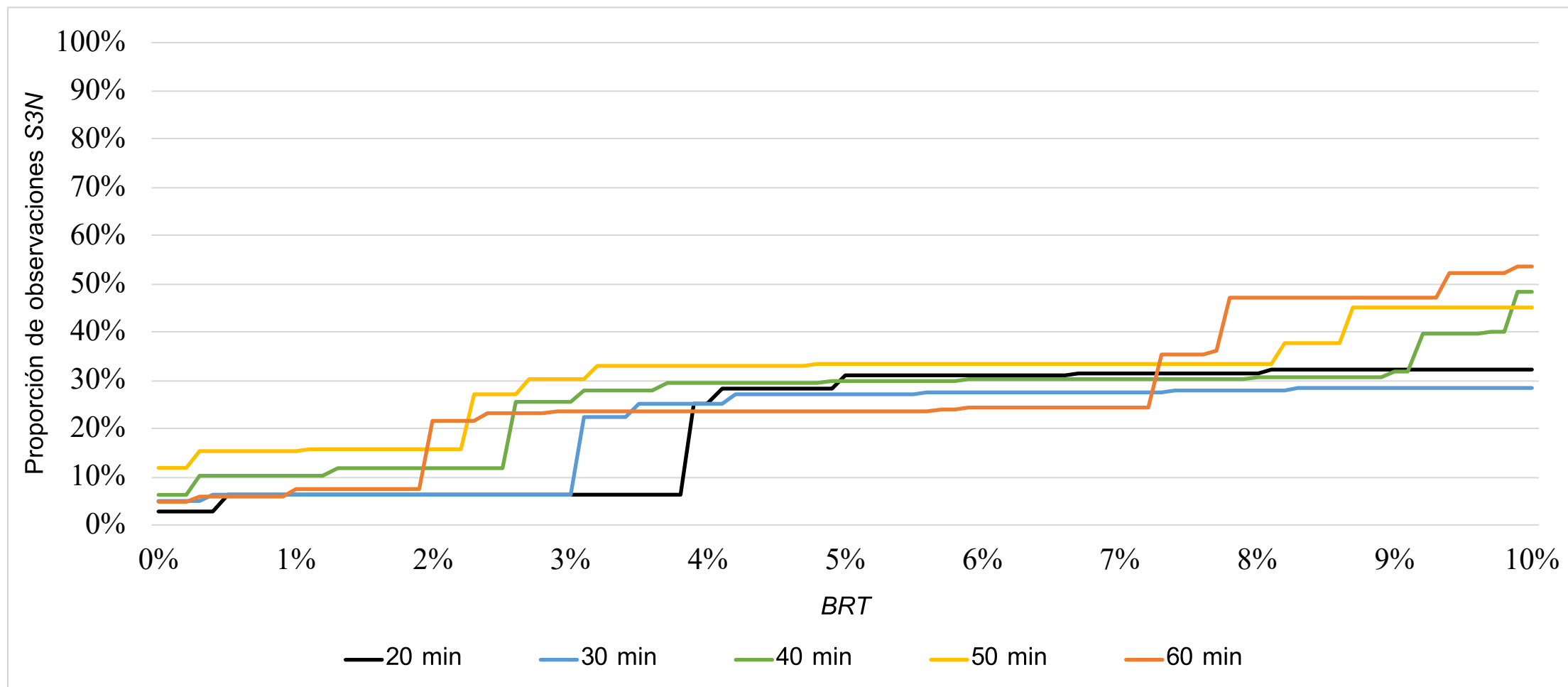
Capacidad de minimizar el *TETV*



Evolución de la capacidad *S2N* de minimizar el *TETV* variando *BRT*



Evolución de la capacidad *S3N* de minimizar el *TETV* variando *BRT*



Evolución de la capacidad $S4N$ de minimizar el $TETV$ variando BRT

