

# MODELO MULTIUSUARIO DE ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO, CASO APLICADO PARA SANTIAGO.

---

*19º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*

Octubre 2019



1. Contexto
2. Modelo de Asignación
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones

Contexto

---

# 1. Contexto

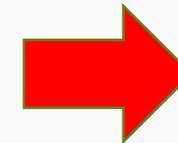


## Sistema Integrado de Transporte

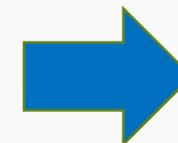
- 34 comunas
- Superficie 680 km<sup>2</sup>
- 7 millones de habitantes
- 21.000.000 viajes semanales



680 Servicios sentido aprox.



20 Servicios Sentido

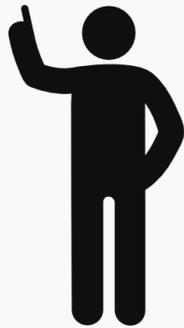


2 Servicios Sentido

# 1. Contexto

---

\$\$\$



\$



\$



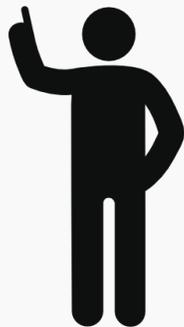
# 1. Contexto

---

Objetivo:

*Incorporar en el modelo de asignación de pasajeros disponible para DTPM la caracterización de los **distintos tipos de usuarios del sistema** en el periodo punta mañana .*

La principal motivación de caracterizar los tipos de usuarios del sistema es determinar si **existen diferencias significativas en las estrategias utilizadas** por cada grupo de usuarios al momento de viajar entre un mismo par origen-destino.



# Modelo de Asignación

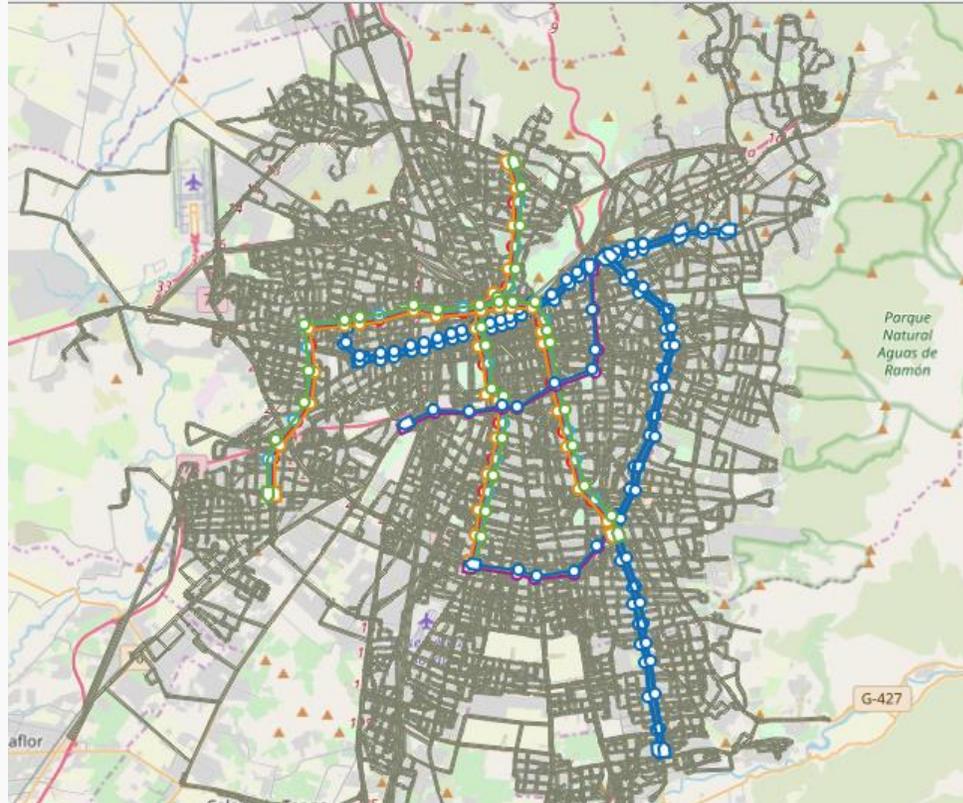
---

# 1. Contexto

## Modelo de Asignación DTPM – PM Agosto 2017(\*)

### Emme 4

- Permite Caracterizar:
  - ✓ Condiciones operacionales de la infraestructura.
  - ✓ Parámetros operacionales de los trazados.
  - ✓ Paradas y estaciones del sistema.
  - ✓ Modo caminata sobre la red vial.
  - ✓ Sistema tarifario integrado vigente.



- **Demanda** del sistema basada en las tablas de viajes y etapas de **ADATRAP**.
- **Asignación con Congestión** (tiempo de viaje en segmentos) y **Restricción de Capacidad** (tiempos de espera en paradas).
- Función de Costos:
  - + Acceso desde el origen a la red
  - + Tiempo de espera
  - + Tiempo de viaje
  - + Transbordo
  - + Caminata entre paradas
  - + Egreso desde la red al destino.

(\*) “Mejoramiento y actualización del modelo de asignación de viajes del sistema Transantiago”, DTPM (2018)

# 1. Contexto

## Parámetros de asignación PM agosto 2017 (\*)

$$F.O = \sum_{etapa\ i=1}^n \frac{tarifa_i^{modo}}{VST} + \alpha_{viaje} * t_{viaje}^i + \alpha_{espera} * t_{espera}^i + \alpha_{caminata} * t_{caminata}^i + \alpha_{penal.trasb,i}^{modo}$$

$$t_{tf1}(bus) = (length/ul1 * 60) * (1 + us1)$$

$$t_{tf3}(metro-metrotren) = us2 * (1 + us1)$$

$$us1 = \alpha * \left( \frac{\text{flujo pasajeros en el segmento}}{\text{capacidad del segmento}} \right)^\beta$$

$$BPR\ t.\ espera_{modo} = \alpha_{modo} * \left( \frac{\text{subidas} + \text{flujo en el arco}}{\text{cap}} \right)^{\beta_{modo}} + 1$$

Donde:

$$cap = 60.0 * 2 * \frac{tot\_cap}{head}$$

$$tot\_cap = \text{capacidad total del vehículo}$$

$$head = \text{headway}$$

Luego:

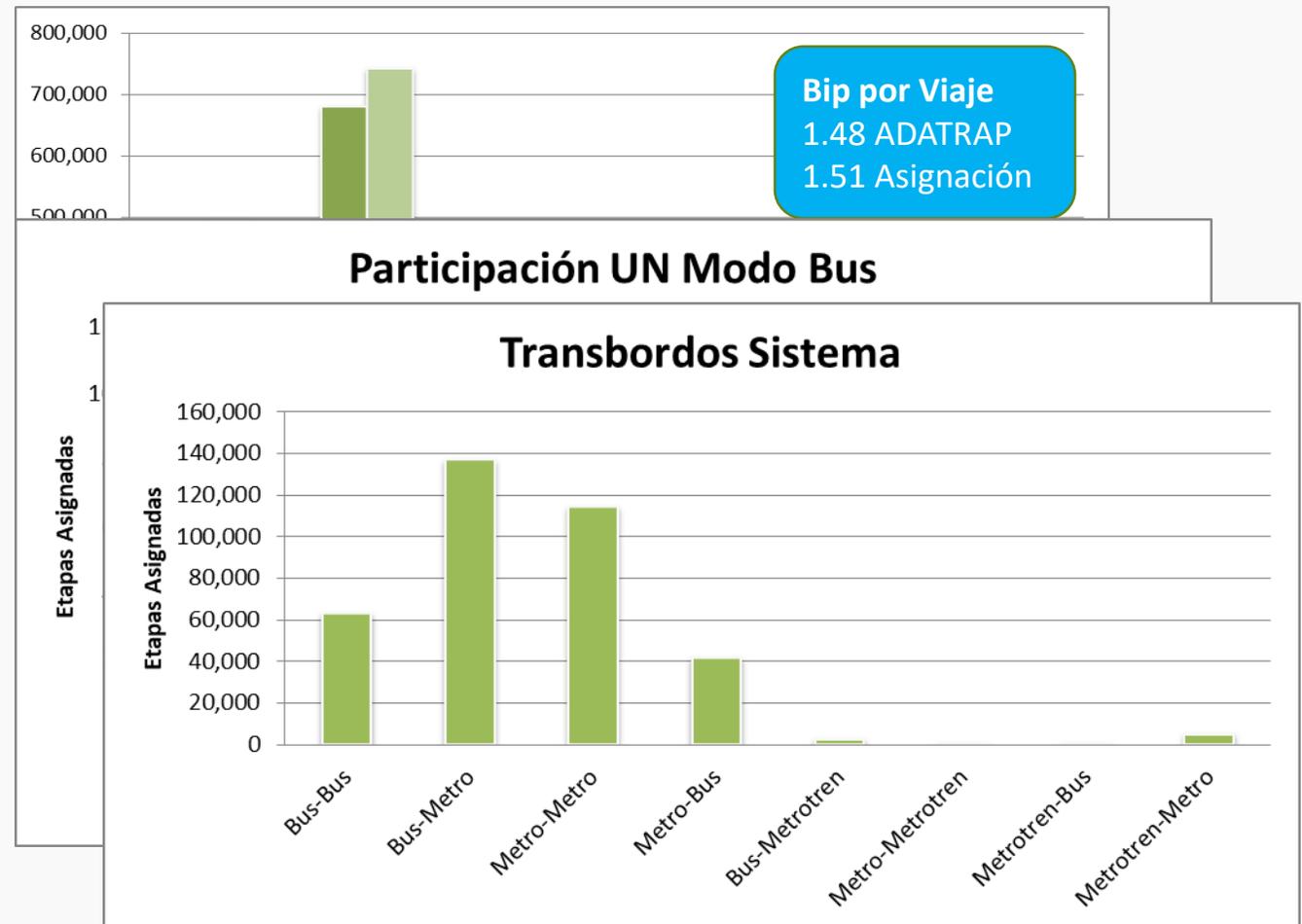
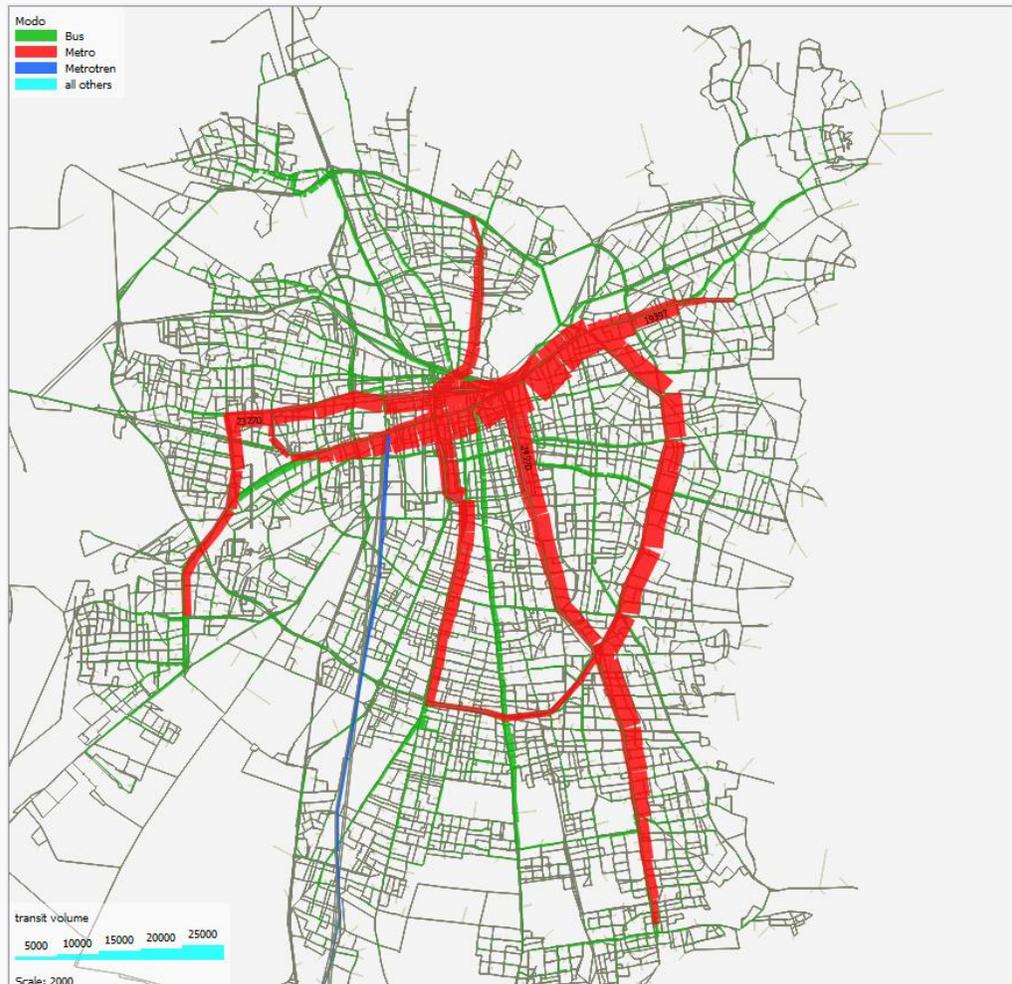
$$headway\_percibido = \text{Min}\{999.0, \text{Max}\{1.0, BPR\ t.\ espera_{modo}\} * \text{intervalo\_segmento}\}$$

Definición de Parámetros	Valor
Valor del Tiempo (\$/min)	58.3430
Peso del Tiempo de Espera	3
Peso del Tiempo de Caminata	2
Peso del Tiempo de Viaje	1
Penalidad por Transbordo Metro	8
Penalidad por Transbordo Metrotren	8
Penalidad por Transbordo Bus	15
$\alpha$ (BPR función de hacinamiento)	2
$\beta$ (BPR función de hacinamiento)	4
$\alpha$ (Intervalo de Espera –Bus)	5.0
$\beta$ (Intervalo de Espera –Bus)	1.5
$\alpha$ (Intervalo de Espera –Metro)	1.5
$\beta$ (Intervalo de Espera –Metro)	2.0
$\alpha$ (Intervalo de Espera –Metrotren)	1.5
$\beta$ (Intervalo de Espera –Metrotren)	2.0

(\*) “Mejoramiento y actualización del modelo de asignación de viajes del sistema Transantiago”, DTPM (2018)

# 1. Contexto

## Modelo de Asignación DTPM – PM Agosto 2017 (\*)

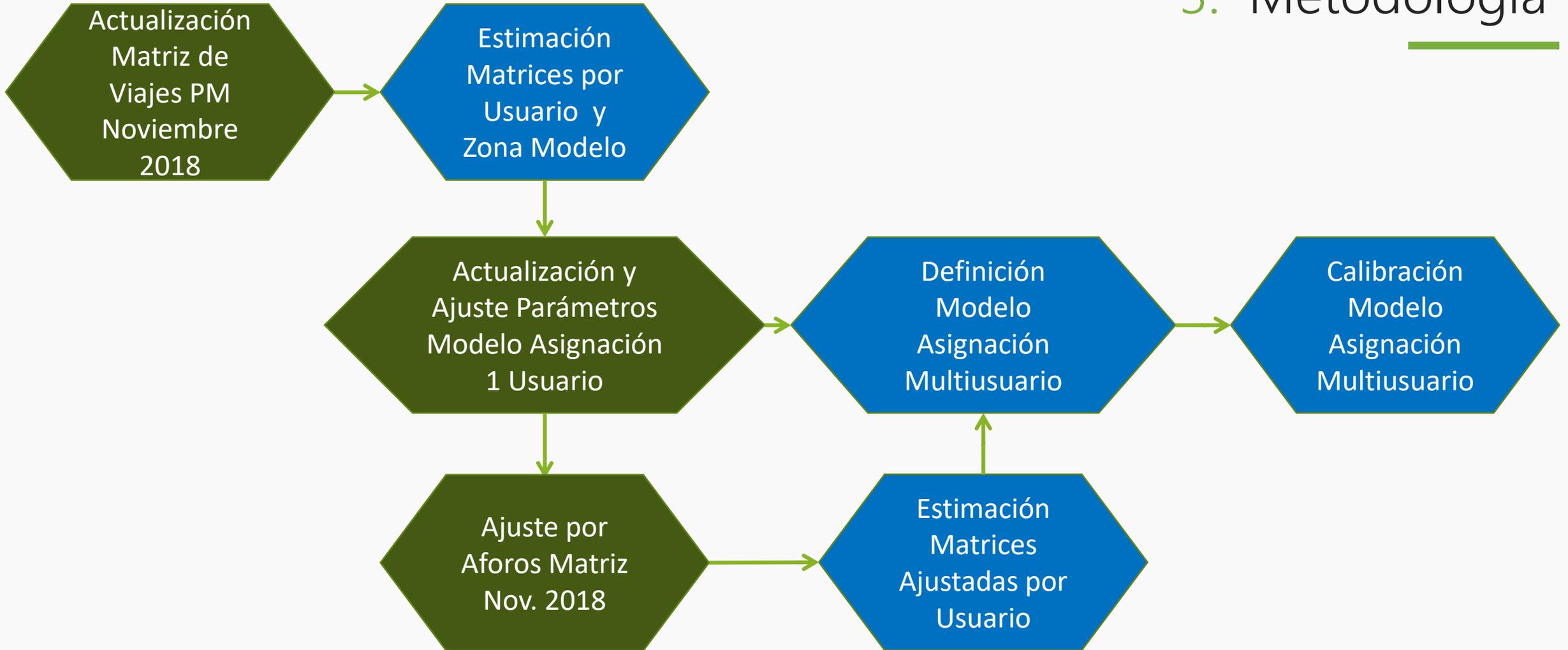


(\*) "Mejoramiento y actualización del modelo de asignación de viajes del sistema Transantiago", DTPM (2018)

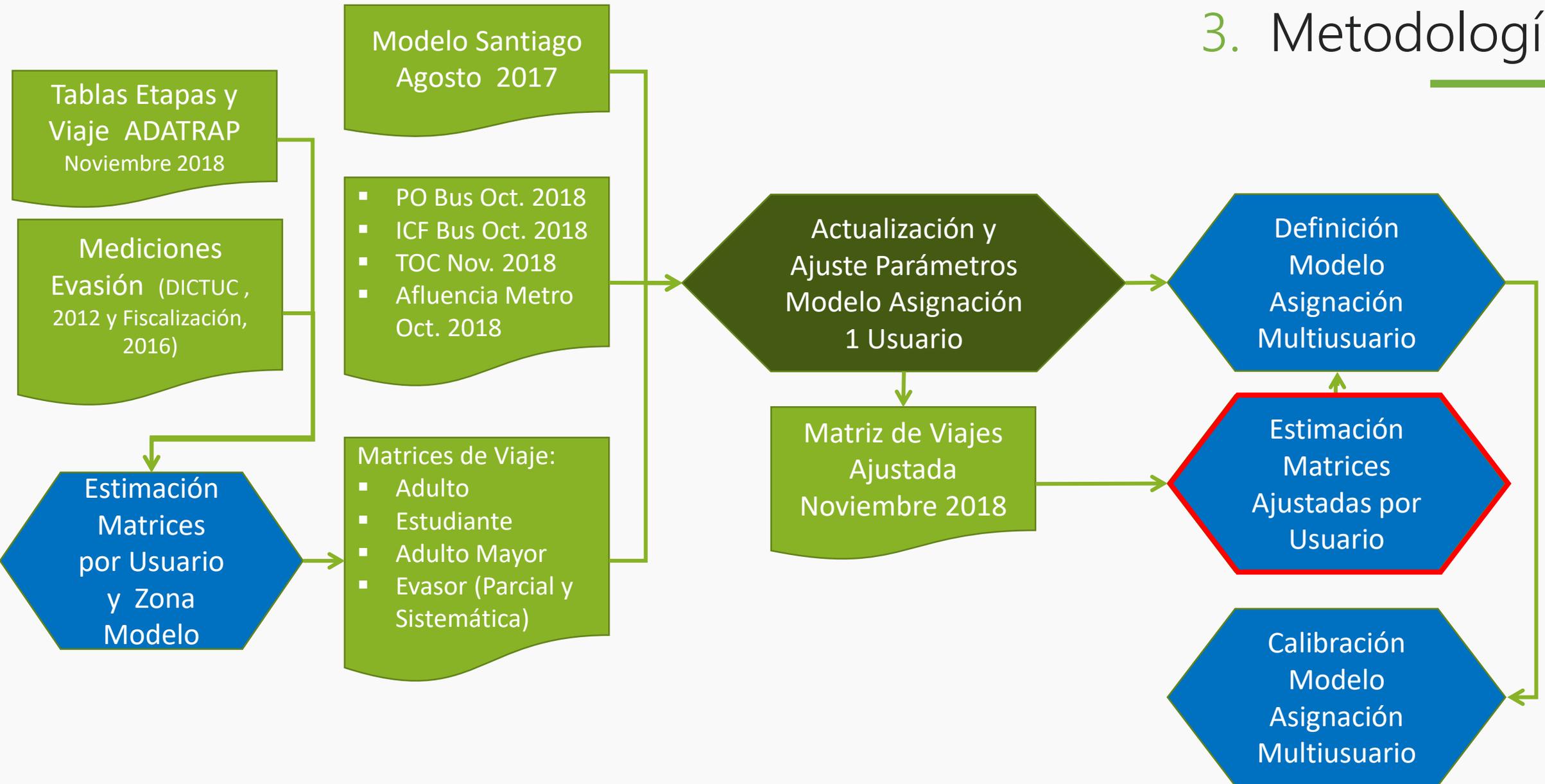
# Metodología

---

### 3. Metodología



### 3. Metodología



### 3. Metodología - Estimación Matrices Ajustadas por Usuario

$$\pm \Delta M = M_{aj} - M_i$$

$M_{aj}$ : Matriz ajustada.

$M_i$ : Matriz a priori.

$+\Delta M$ : Diferencias Positivas.

$-\Delta M$ : Diferencias Negativas.

$$M.Evasor_{Mod} = M.Evasor + (+\Delta M)$$

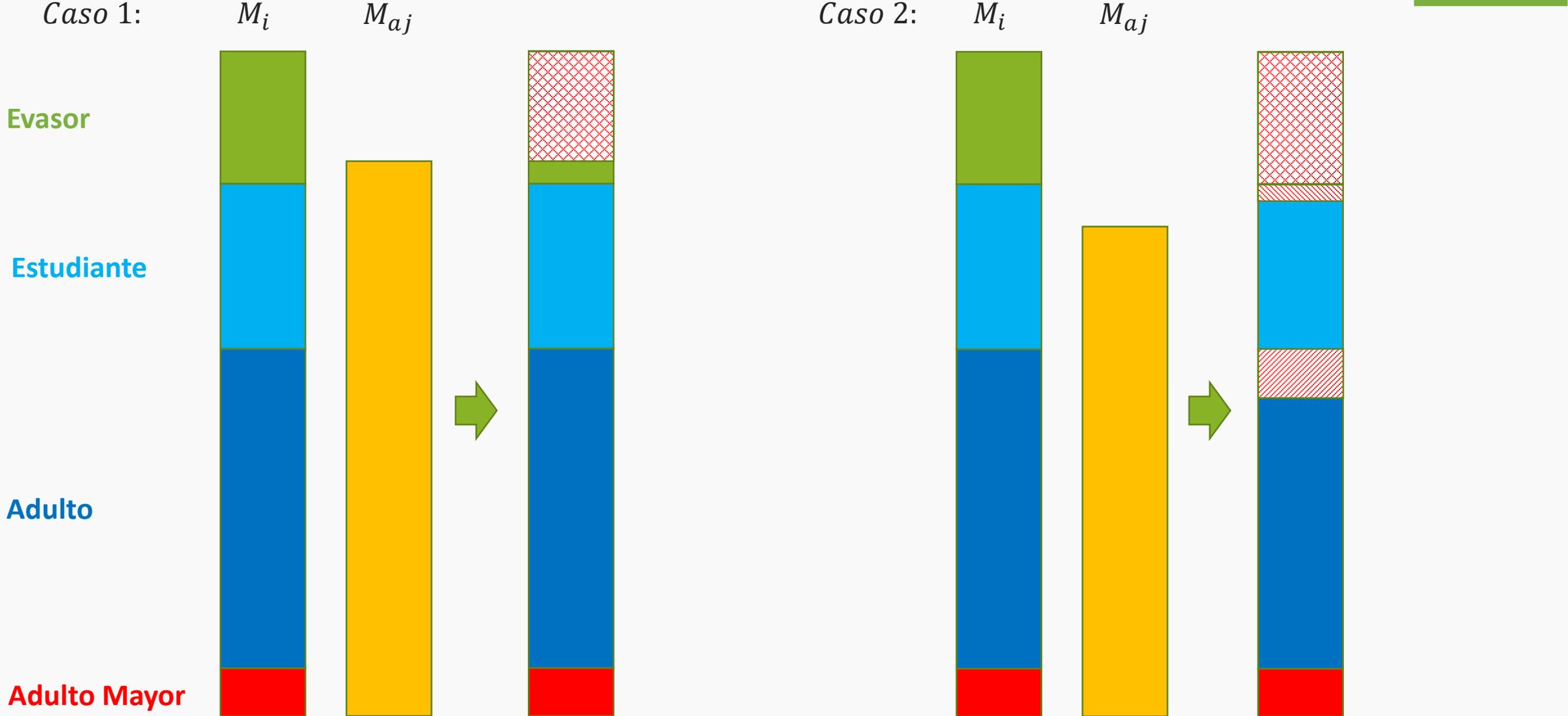
$$M.Evasor_{Mod2} = M.Evasor_{Mod} - \min(M.Evasor_{Mod}, |-\Delta M|)$$

$$\text{Si } M.Evasor_{Mod} < |-\Delta M|$$

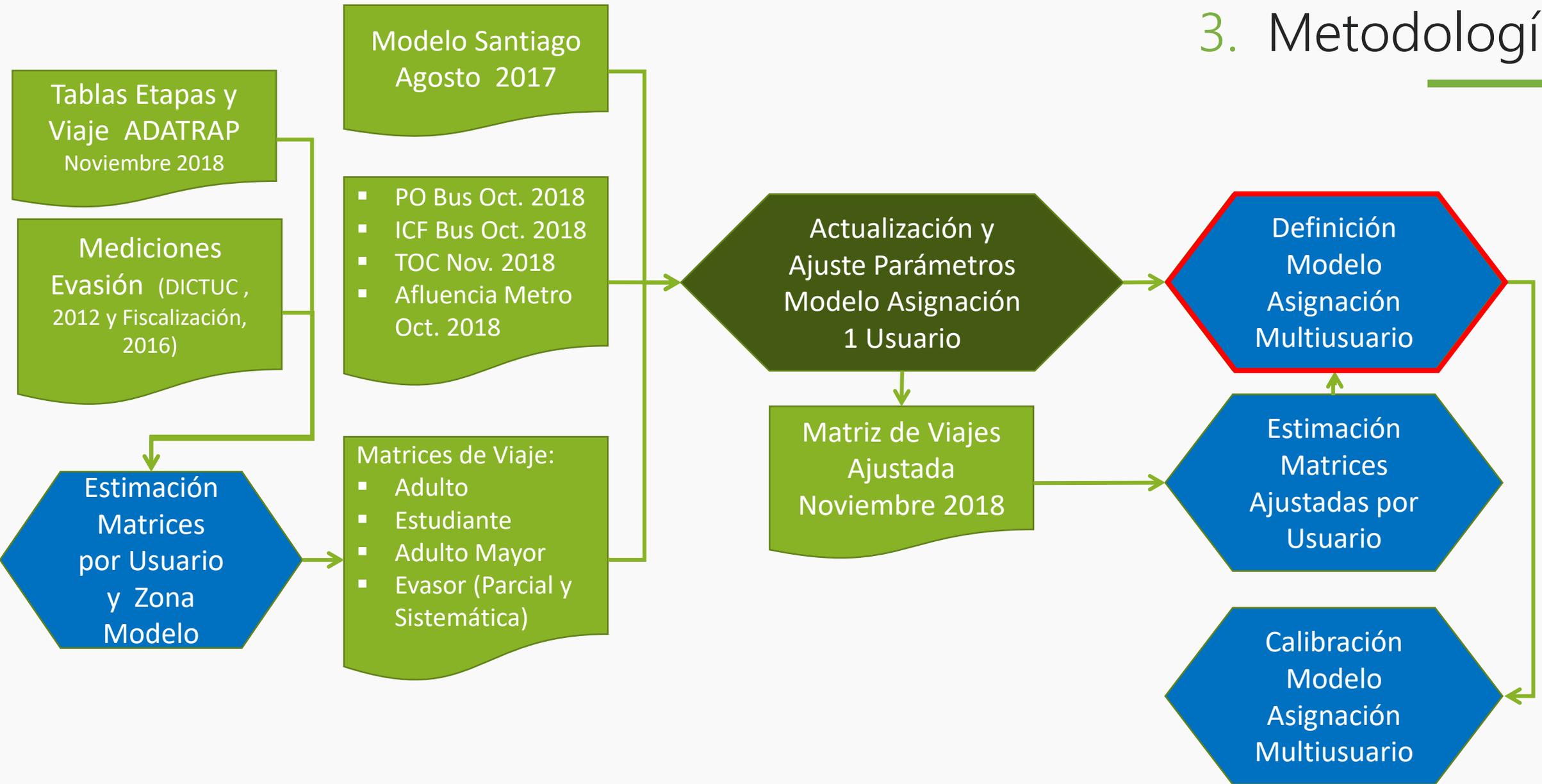
$$M.Adulto_{Mod} = M.Adulto - \alpha \cdot (|-\Delta M| - M.Evasor_{Mod})$$

$$M.Estudiante_{Mod} = M.Estudiante - \beta \cdot (|-\Delta M| - M.Evasor_{Mod})$$

# 3. Metodología - Estimación Matrices Ajustadas por Usuario



### 3. Metodología



### 3. Metodología - Definición Modelo Asignación Multiusuario

#### Asignación 1 Usuario

Matriz Viajes Global

##### Tarifa:

Solo Bus: \$680  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

##### Parámetros Asignación (0)

- Valor Subjetivo del Tiempo
- Penalidad de Abordaje
- Penalidad de Transbordo
- Peso Tiempo de Espera
- Peso Tiempo de Caminata



#### Adulto

Matriz Viajes Adulto

Tarifa:  
Solo Bus: \$680  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

Parámetros Asignación (0)

#### Estudiante

Matriz Viajes Estudiante

Tarifa:  
Solo Bus: \$220  
Solo Metro: \$220  
Bus y Metro: \$220

Parámetros Asignación (0)

#### Adulto Mayor

Matriz Viajes Adulto Mayor

Tarifa:  
Metro: \$220

Parámetros Asignación (0)

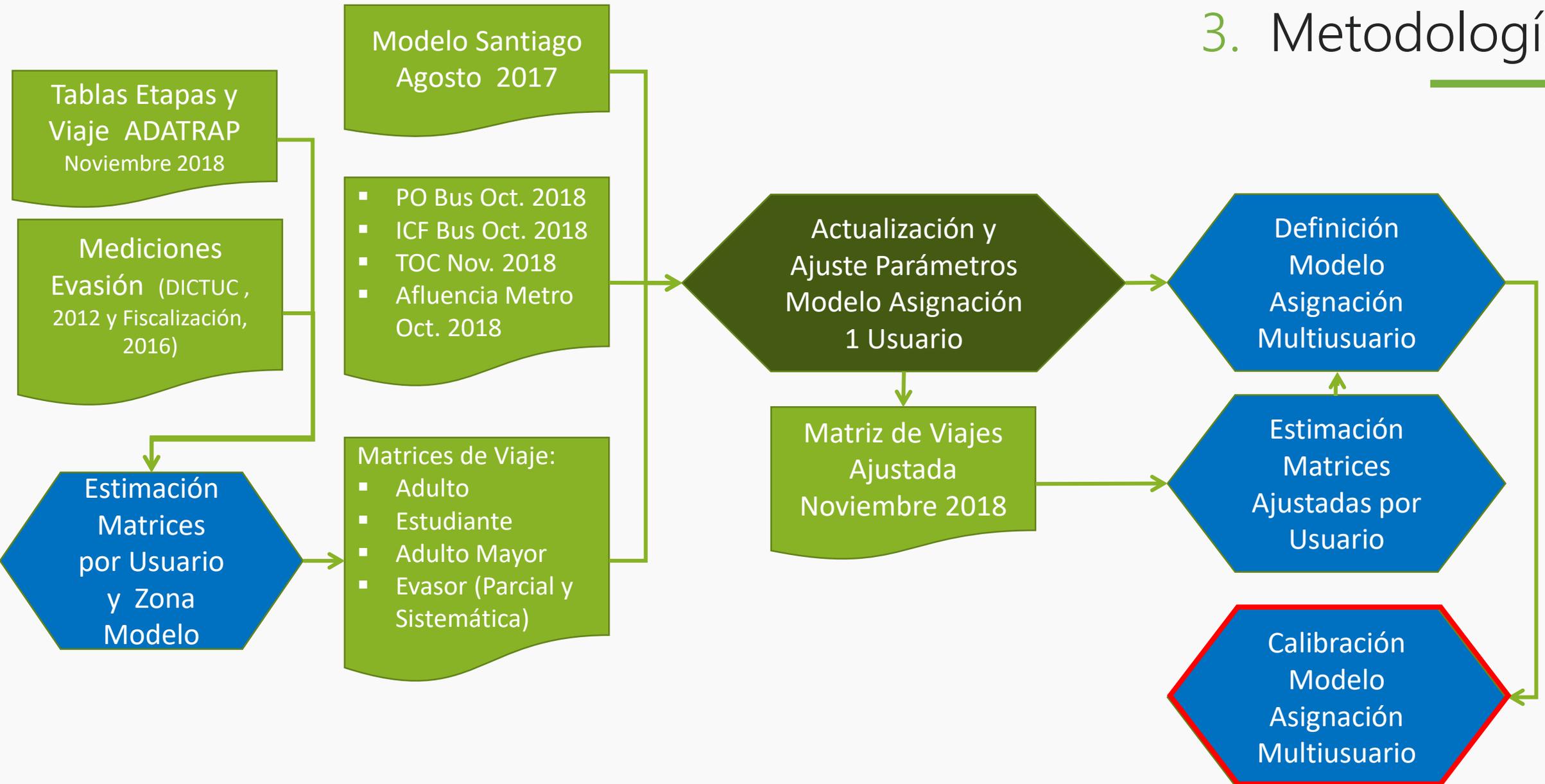
#### Evasor

Matriz Viajes Evasor

Tarifa:  
Solo Bus: \$0  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

Parámetros Asignación (0)

### 3. Metodología



### 3. Metodología - Calibración Modelo Asignación Multiusuario

#### Asignación 1 Usuario

Matriz Viajes Global

Tarifa:

Solo Bus: \$680  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

Parámetros Asignación (0)

- Valor Subjetivo del Tiempo
- Penalidad de Abordaje
- Penalidad de Transbordo
- Peso Tiempo de Espera
- Peso Tiempo de Caminata



#### Adulto

Matriz Viajes Adulto

Tarifa:

Solo Bus: \$680  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

Parámetros Asignación (1)

#### Estudiante

Matriz Viajes Estudiante

Tarifa:

Solo Bus: \$220  
Solo Metro: \$220  
Bus y Metro: \$220

Parámetros Asignación (2)

#### Adulto Mayor

Matriz Viajes Adulto Mayor

Tarifa:

Metro: \$220

Parámetros Asignación (3)

#### Evasor

Matriz Viajes Evasor

Tarifa:

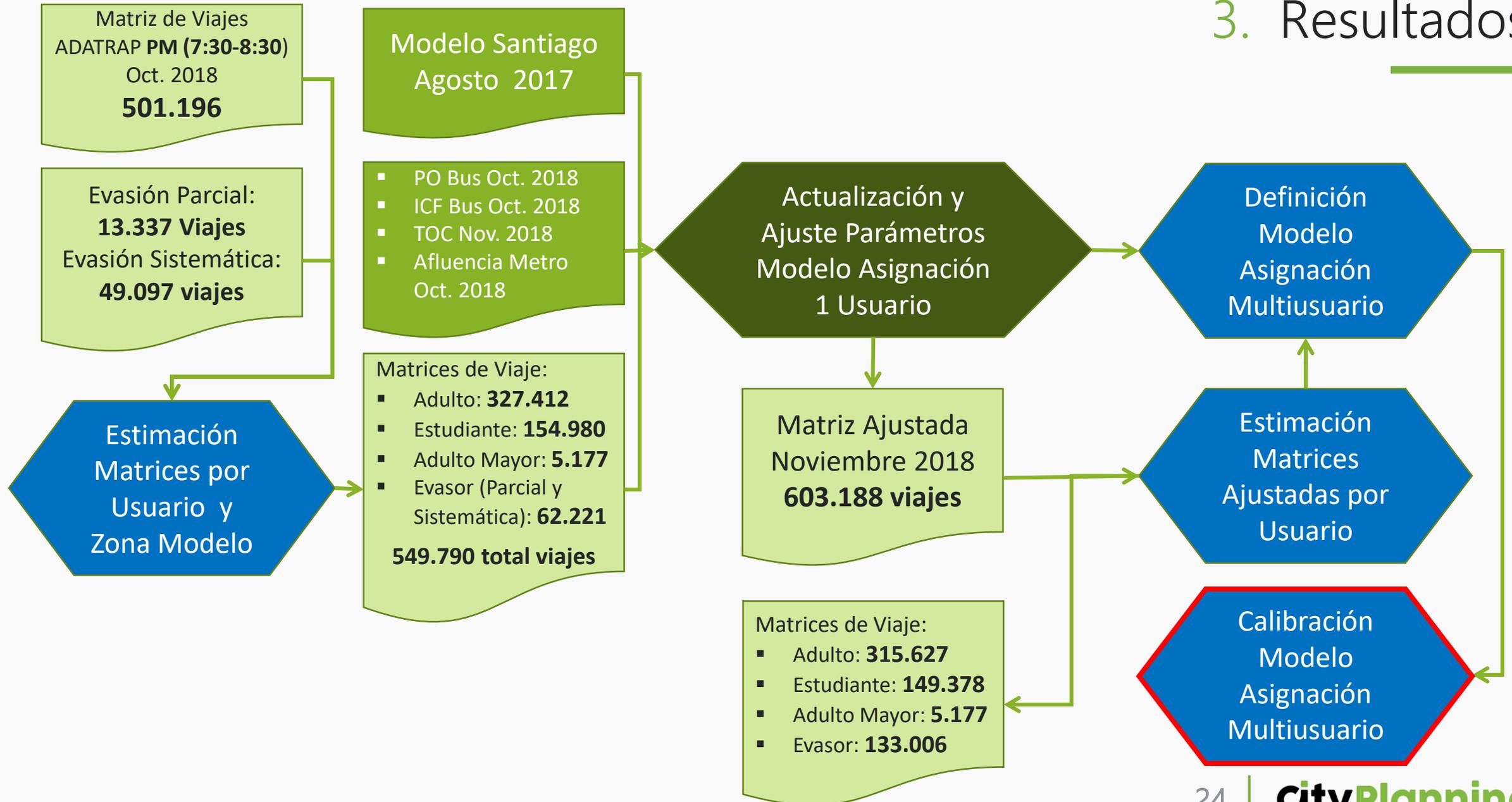
Solo Bus: \$0  
Solo Metro: \$780  
Bus y Metro: \$780

Parámetros Asignación (4)

# Resultados

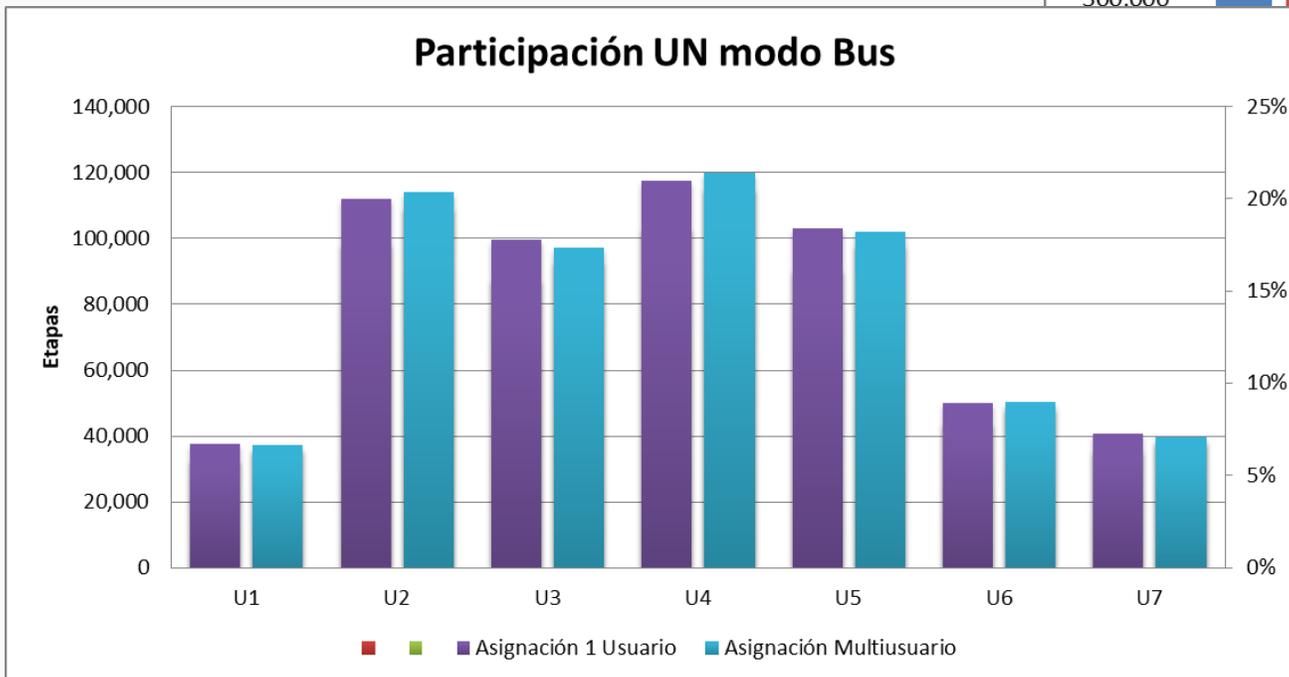
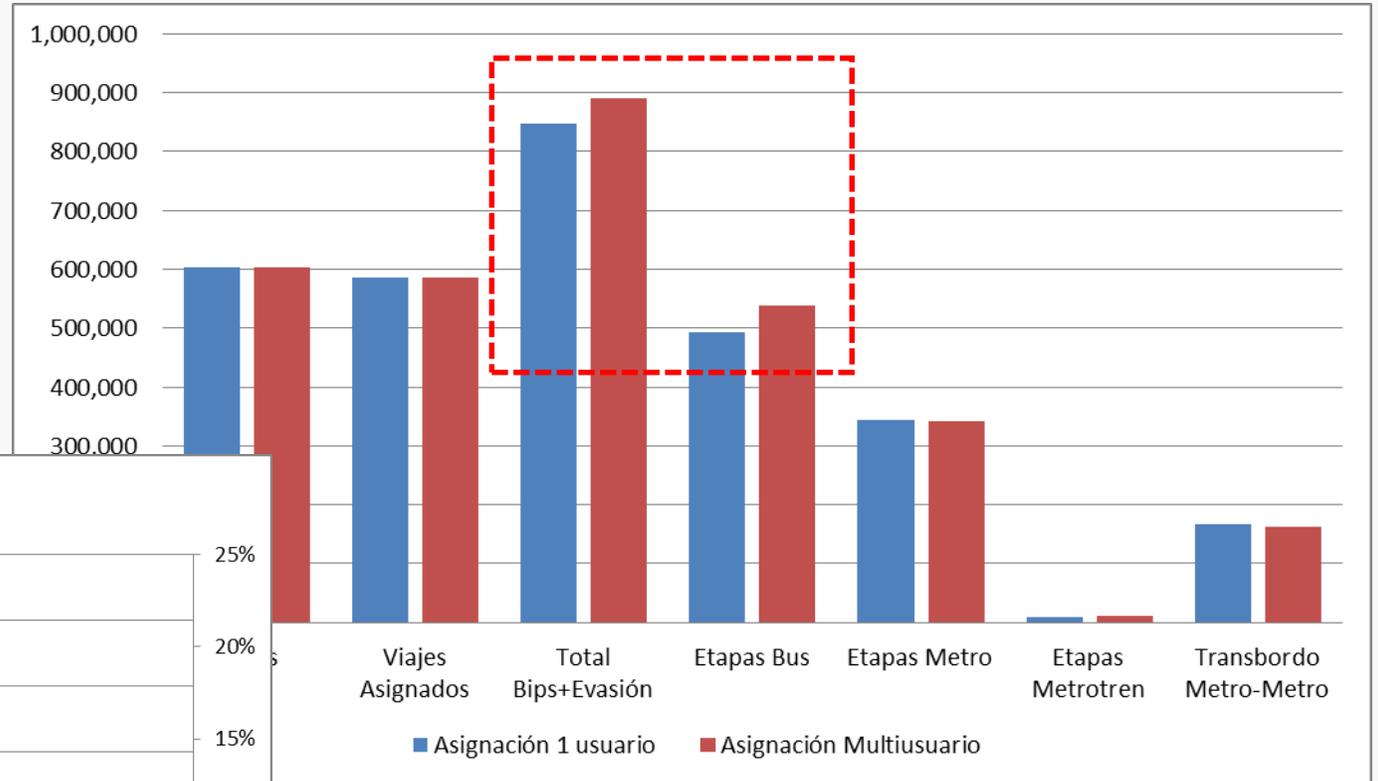
---

### 3. Resultados



# 4. Resultados – Calibración Modelo Multiusuario

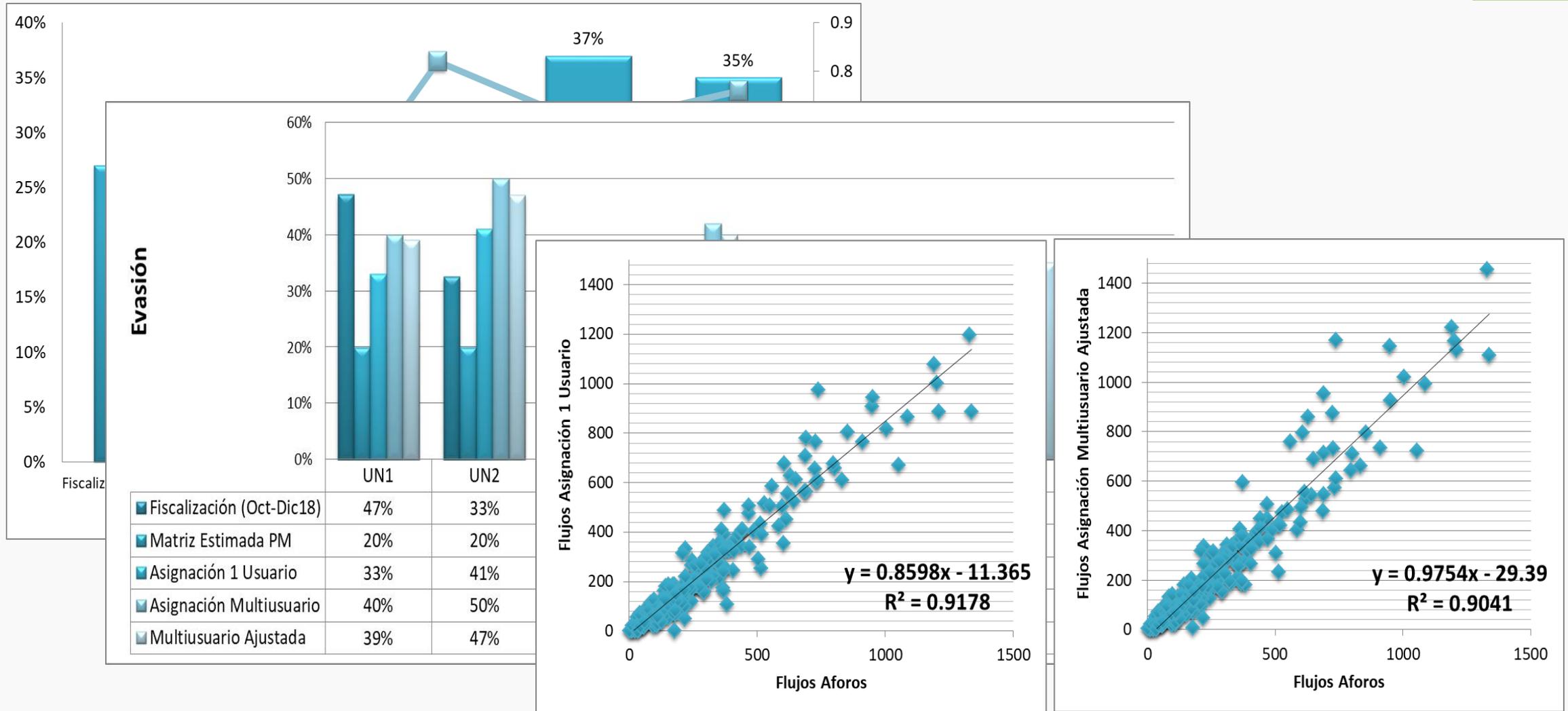
Parámetro	Parámetro Inicial	Parámetro Ajustado
Transbordo a metro Adulto	8	3
Transbordo a metro Estudiante	8	3
Transbordo a bus Adulto	15	15
Transbordo a bus Estudiante	15	15
Penalidad inicial bus Adulto	5	10
Penalidad inicial bus Estudiante	5	10



## 4. Resultados – Calibración Modelo Multiusuario

Usuario	ITEM	Datos Matriz PM ADATRAP	Asignación Multiusuario
Adulto	Etapas Bip Promedio	1,41	1,41
	Etapas Bus	240.588	213.887
	Etapas Acceso Metro	221.218	216.883
	Transbordo Metro-Metro	113.653	107.698
Estudiante	Etapas Bip Promedio	1,38	1,38
	Etapas Bus	108.184	101.981
	Etapas Acceso Metro	105.985	99.702
	Transbordo Metro-Metro	55.985	49.381
Evasor	Etapas Bip Promedio	1,46	1,84
	Etapas Bus	77.264	222.839
	Etapas Acceso Metro	13.337	19.036
	Transbordo Metro-Metro	6.306	2.989
Adulto Mayor	Etapas Bip Promedio	1,0	1,0
	Etapas Bus	-	-
	Etapas Acceso Metro	5.177	5.177
	Transbordo Metro-Metro	2.920	2.920
Resultados Globales	Bus-bus	55.979	117.204
	Bus-metrotren	2.058	3.684
	Bus-metro	130.532	131.780
	Tren-metro	5.208	6.617
	Metro-bus	35.830	43.172
	Metro-metro	178.758	162.988
Etapas Acceso Metro		345.772	340.798
Etapas Bus		426.036	538.704
Etapas Totales		781.204	889.889

# 4. Resultados – Calibración Multiusuario



# Conclusiones

---

## 5. Conclusiones

---

- La asignación multiusuario reporta un **aumento de 50.000 etapas** asignadas en el modo bus, sin registrar cambios significativos en el modo metro.
- La asignación multiusuario permite identificar el **flujo de pasajeros evasores del sistema** a nivel de servicio y/o eje, pudiendo de esta manera focalizar medidas respecto al **diseño de la oferta del sistema** o **medidas de fiscalización** de la evasión.

MEJORA: Estimar la evasión del sistema directamente del proceso de ajuste de la matriz en el modelo de asignación utilizando aforos de pasajeros. Es decir, considerar como matriz a priori la obtenida del software ADATRAP.

# MODELO MULTIUSUARIO DE ASIGNACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO, CASO APLICADO PARA SANTIAGO.

---

*Pablo Beltrán  
Loreto Bravo  
Diego Cruz  
Carolina Palma  
Daniela Vargas*

*19º Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*



Octubre 2019