

# Electromovilidad en ciudades latinoamericanas: Análisis de Prefactibilidad de Transporte Público: Casos de estudio Quito y Montevideo

M.Sc. Alexandra Velasco  
*PhD (c) Technical University of Dresden*  
*IVI Fraunhofer Institute for Transport and Infrastructure Systems*

 **solutiona plus**

# Antecedentes

- En el contexto del proyecto Urban Pathways, apoyado por ONU-Hábitat, la consultoría "Desarrollo de una metodología para evaluar la sostenibilidad y viabilidad de la electromovilidad en el transporte público en América Latina" fue desarrollada en el 2021, y pretende dar insumos para la toma de decisiones sobre la viabilidad de buses eléctricos a batería (BEB) tipo padrón, articulados y biarticulados en las ciudades latinoamericanas. Esta investigación se centrará en dos ciudades, Quito y Montevideo, que cuentan con información proporcionada de un corredor de BRT (Quito) y de una ruta líneas de autobuses convencionales (Montevideo) con datos pre-pandemia (2019).



Plaza de la Independencia - Montevideo



Centro histórico de Quito

# Metodología

## 1. Análisis de flota y del plan operativo

- La capacidad de un sistema de transporte resulta del producto de la frecuencia de los trayectos tomada como base en el diseño de los horarios y el tamaño (en el sentido del número de plazas de pie y de asientos ofrecidos) de los vehículos utilizados. El intervalo máximo requerido de cada línea depende de la capacidad (de asientos o de pie) de los vehículos, un nivel de saturación máximo predefinido como referencia de confort, y el número de pasajeros en el segmento de línea con carga máxima.

$$n = \frac{u}{h} = \frac{s * u}{60}$$

Donde

- $n$  número de vehículos requeridos
- $s$  ciclos por hora
- $h$  intervalo (min)
- $u$  tiempo de cada ciclo (min) (=Σ tiempo en trayecto y de pausa en ambas direcciones)

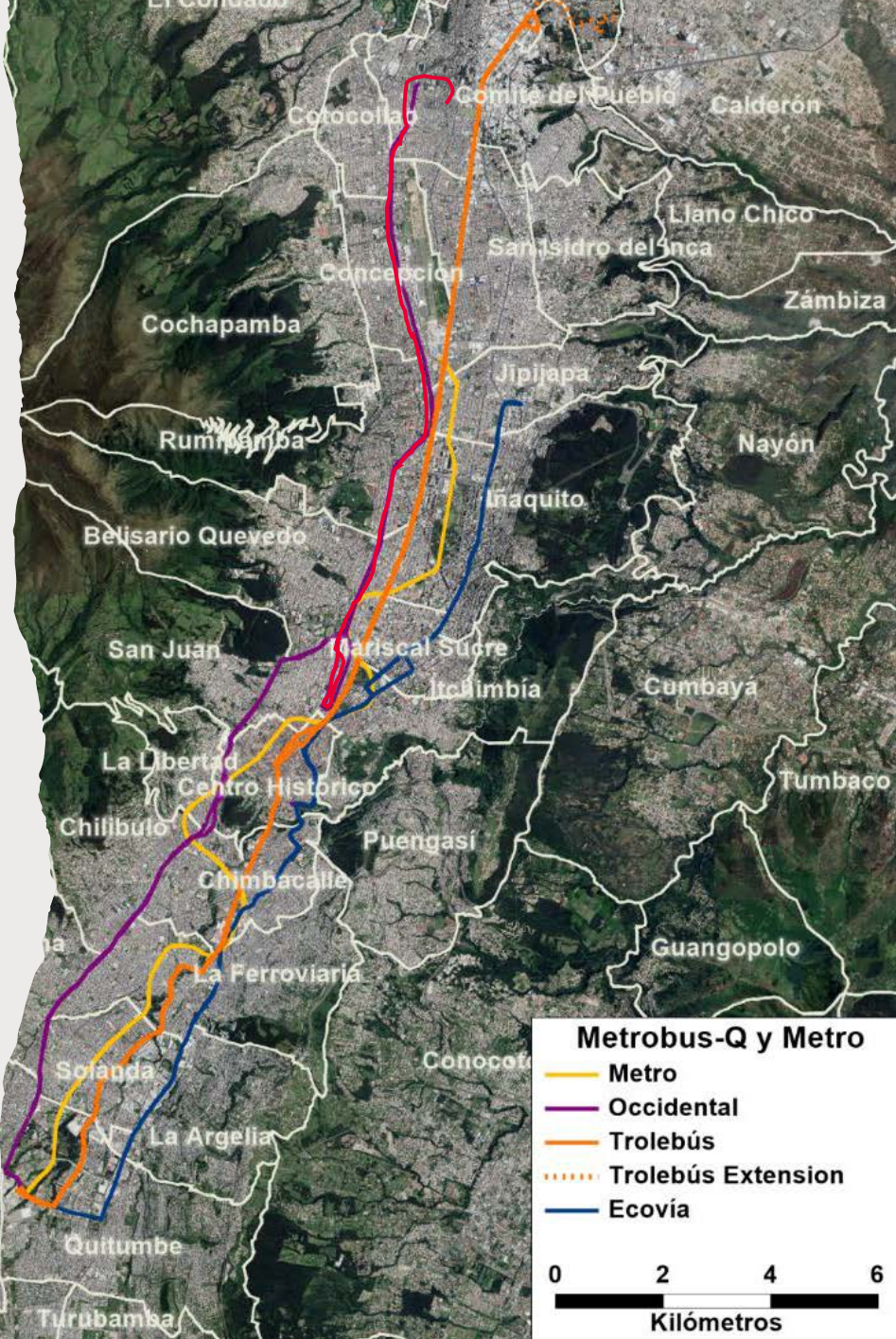
# Metodología

## 2. Base de datos y características técnicas de las rutas analizadas

Luego se analiza la información sobre el tipo de BEBs (buses eléctricos a batería) aptos para los mercados latinoamericanos con sus respectivas características técnicas, la longitud de la línea o líneas a ser analizadas, la ubicación del depósito y terminales y los kilómetros muertos.

## 3. Análisis de costos con diferentes tipos de vehículos

Para este paso es importante obtener información sobre la estructura actual de costos, incluyendo gastos administrativos, operacionales y variables, costos energéticos en hora pico y hora valle, entre otra información. Los cálculos se muestran mensual y anualmente como también el costo operativo por kilómetro.

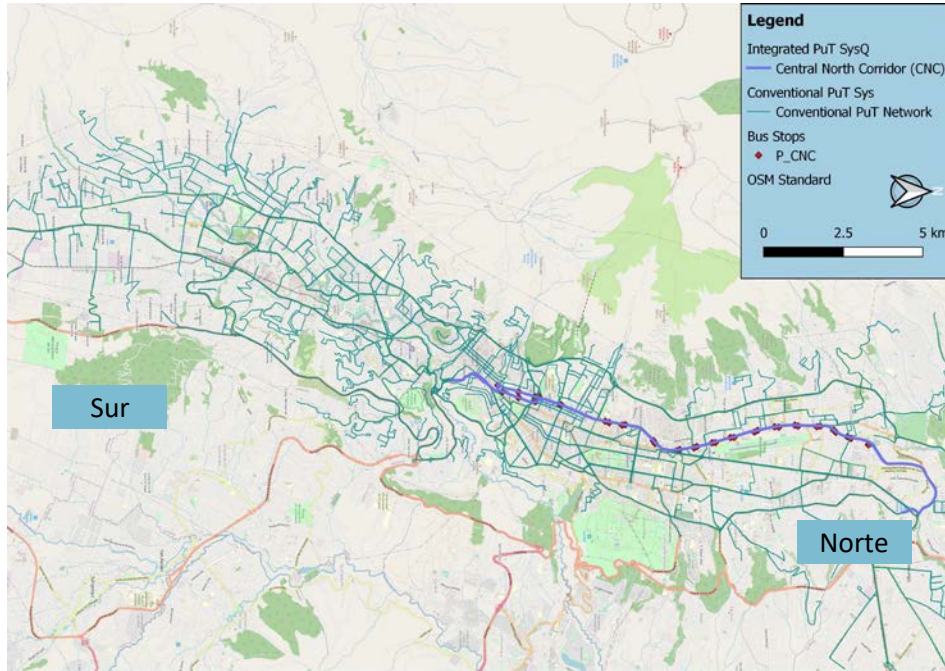


# Caso de estudio Quito

- Quito, capital de Ecuador, se encuentra a 2.800 metros sobre el nivel del mar y tiene una población de 3 millones de habitantes. La estructura urbana de la ciudad es particularmente alargada extendiéndose en el valle a las faldas del volcán Pichincha norte a sur. Debido al desarrollo topográfico, urbanístico y de transporte, las conexiones transversales son parciales. Por lo tanto, el transporte en Quito se caracteriza por una gran demanda de transporte público en ambas direcciones (norte - sur) con una creciente demanda proveniente de los valles orientales hacia el centro de la ciudad en los últimos 10 años.

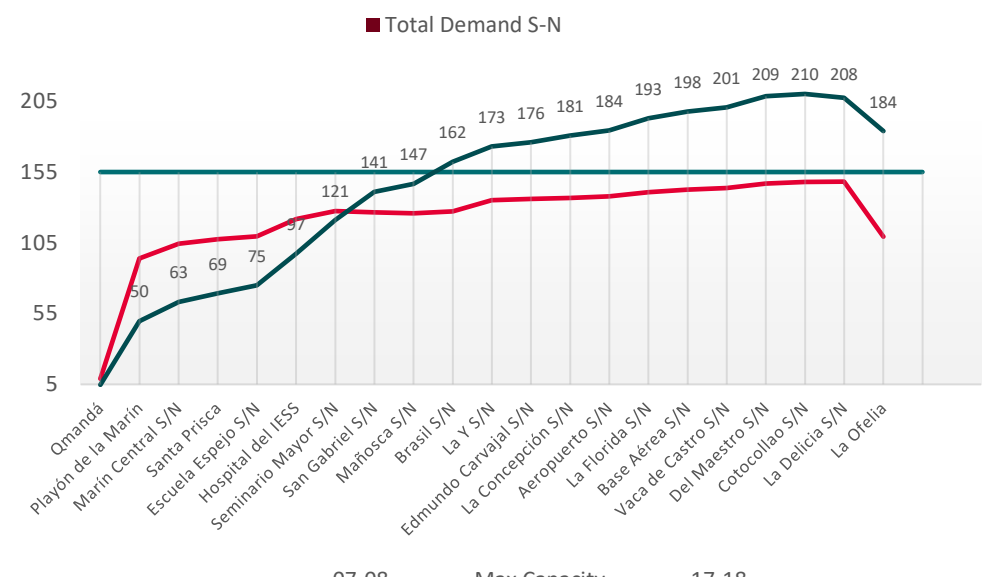
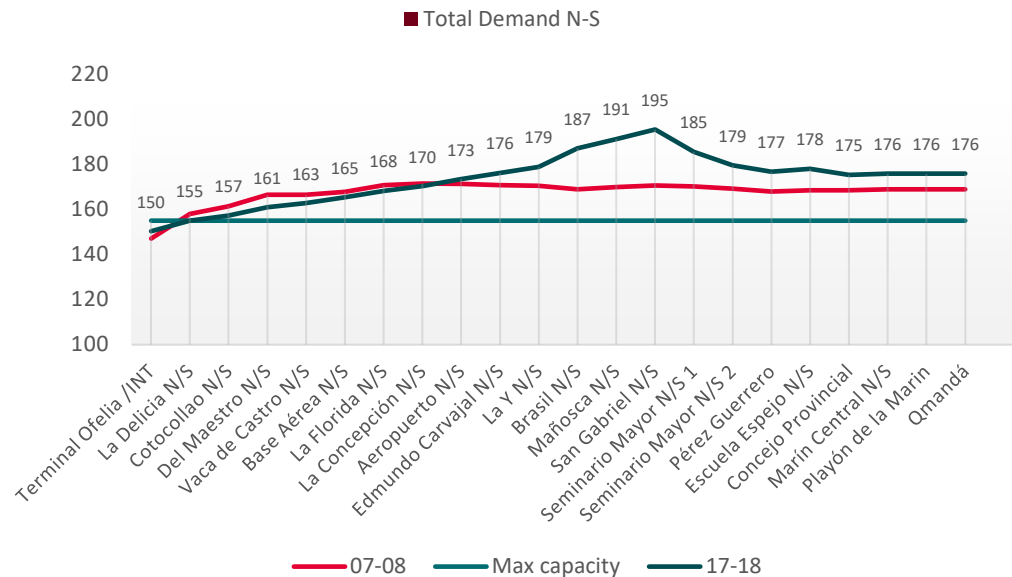
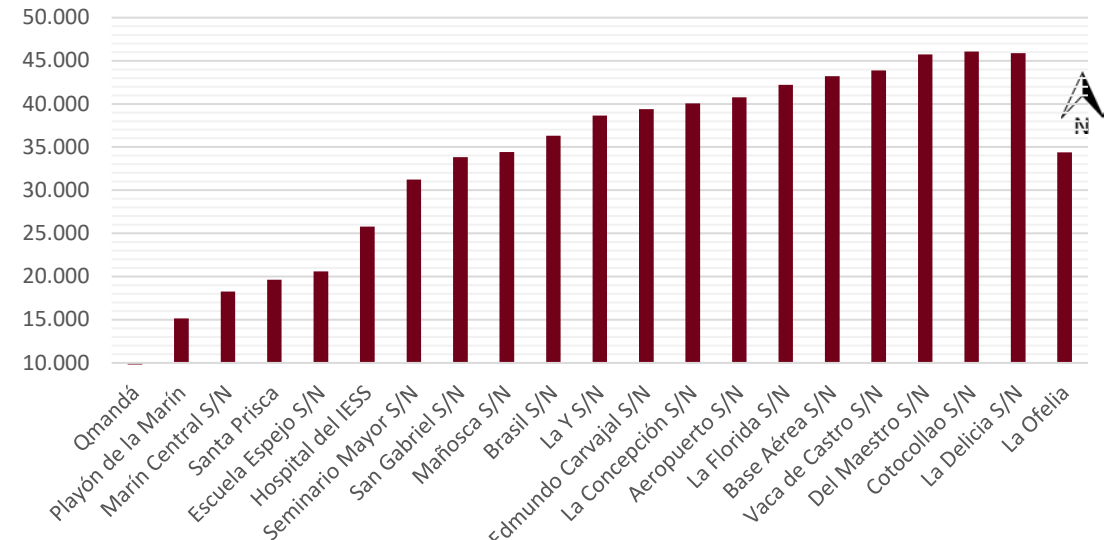
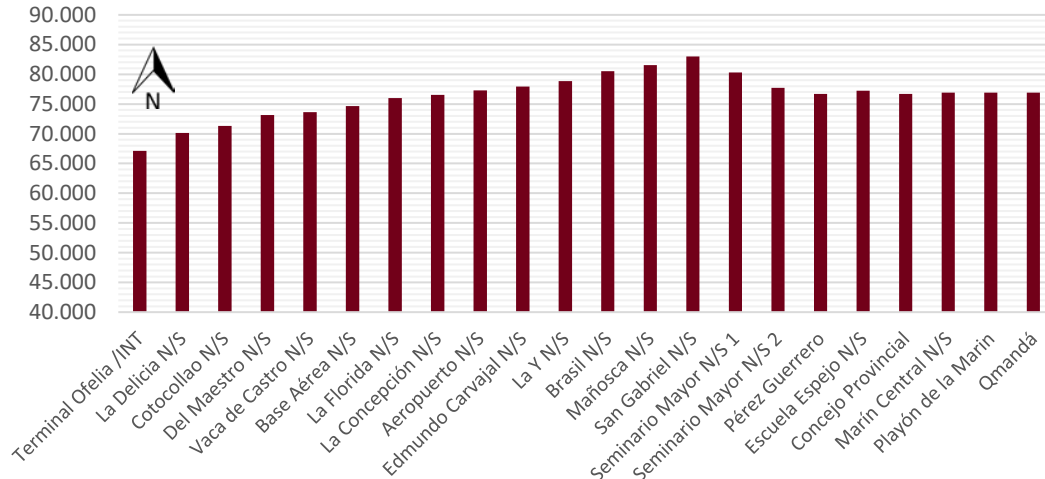


# Características del corredor Central Norte en Quito



Parámetros	Longitud (km)	Paradas intermedias /Terminales	Demanda diaria de pasajeros (pas-viaje)	Distancia del servicio (km)	Kilometraje muerto por veh	Tiempo muerto de ida/Vuelta por veh (min)	IPK
<b>Corredor Central Norte</b>	14,84	36/2	132.391	29,68	14,84	17,8	4,5
Parámetros	Períodos disponibles para carga	Tiempo de operación (min)	Kilometraje anual por bus (km)	Kilometraje diario total de la flota (km)	Flota actual de buses (articulados 18m)	Velocidad comercial (km/h)	Capacidad del bus
<b>Corredor Central Norte</b>	00:00 – 05:00 flota total/ 10:00 – 12:00/14:00 – 16:00 flota parcial	98	69.025	12.593,60	64	18	155 p

# Características Generales del corredor CCN en Quito



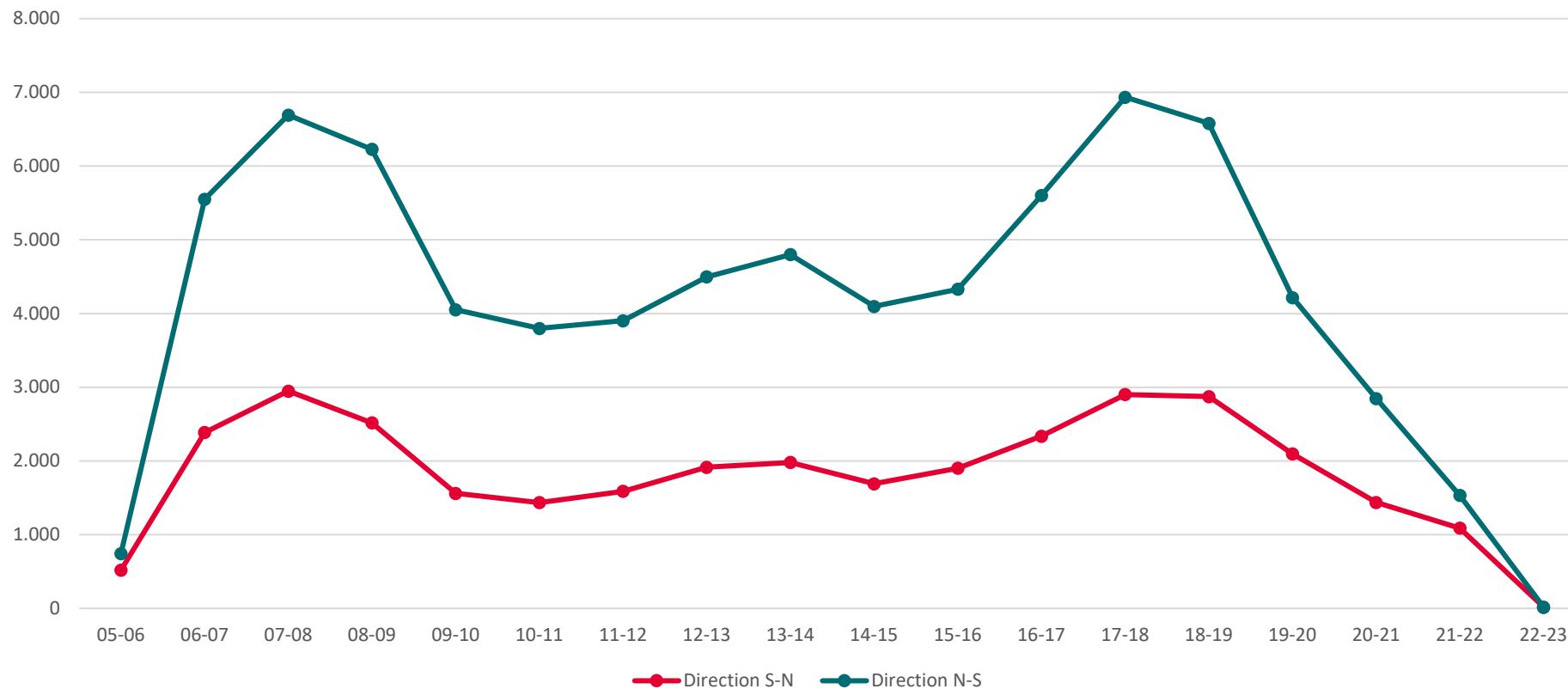
Índice de ocupación por autobús en hora punta Norte - Sur CCN

Índice de ocupación por autobús en hora punta Sur - Norte CCN

# Características Generales del corredor CCN en Quito



## Demanda horaria en ambas direcciones CCN



# Especificaciones técnicas de algunos BEBs asiáticos y europeos

MARCA BUS	GVW* (ton)	Capacidad	#Puertas	Autonomía Declarada (km)	Capacidad de Batería (kWh)	Potencia de carga (kW)	Tipo de Batería	Orig	Costo (\$USD)
<b>Proveedores Asiáticos</b>									
BYD K11A	31	160	6	270-300	438	100 kW x 2	LiFePo <sub>4</sub>	CH	660.000
YUTONG	28	160	3	300	563	150	LiFePo <sub>4</sub>	CH	450.000
<b>Proveedores Europeos</b>									
SOLARIS	31	140	4	220	550	up to 450 (plug in)	NMC	PO	855.000
eCITARO ((NMC1 8/10/12 pcs) (NMC2 8/10/12 pcs) Solid state battery, 6/7 pcs.)	30	142	3-4	200	194/243/292 264/330/396 378/441	Up to 150	NMC	GER	n/a
VOLVO 7900	29	150	3	180	396	400 (panto); 150 (plug in)	LiFePo <sub>4</sub>	SW	n/a
<b>Buses Biarticulados</b>									
Sileo 25	39	210	4-5	300	450	150	LiFePo <sub>4</sub>	GER-TUR	n/a

# Cálculo de Flota Eléctrica por capacidad de pasajeros

	BEB Articulado 18 m				BEB Bi-articulado 24 m		BEB Extra-grandes (> 30 m)
Capacidad de pasajeros	B1= 142 p	B2 = 150 p	B3 = 140 p	B4 = 160 p	B5 = 210 p	B6 = 200 p	B7 = 256 p
Xmax = 1	90	85	91	80	61	64	50
Xmax = 1,25	72	68	73	64	49	51	40
Xmax = 1,5	60	57	61	53	41	43	33



eCitaro G – EvoBus GmbH – Alemania



Volvo 7900 – Suecia



Solaris Urbino 18 E - Polonia



BYD K11A - China



Hess lighTram®25 - Suiza



AutoTram ExtraGrand - Alemania

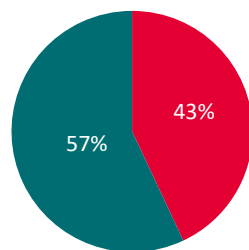
# Análisis de Costos por km

## Parámetros:

- Kilometraje Mensual por bus: 5.866 km
- Consumo de Diésel por bus articulado: 1,1 l/km
- Consumo energético por bus articulado: 1,83 kWh/km
- Precio del Diésel: 0,5 \$US/l
- Costo energía: 0,077 \$US/kWh
- Energía utilizada por mes: 9.516,1 kWh

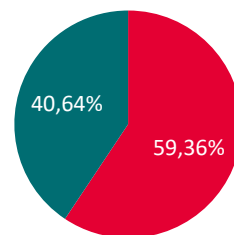
Para vehículos eléctricos cargando entre 08:00 y 18:00 es 0,08 \$US/kWh, de 18:00 a 22:00 es 0,10 \$US/kWh y de 22:00 a 08:00 es 0,050 \$US/kWh. Se tomó el promedio de todas estas tarifas.

Porcentaje costos fijos y variables por bus articulado a diesel (%)



■ Fixed Costs ■ Variable Costs

Costos fijos y variables por bus eléctrico articulado (%)



■ Fixed Costs ■ Variable Costs

27% ↑

	Flota con 64 vehículos	Flota con 49 vehículos
Costos anuales flota diesel en \$ USD	\$8.833.954,95	\$6.763.496,76
Costos anuales flota BEBs en \$ USD	\$6.492.696	\$4.970.971

## Costos Operativos por km por Bus Articulado a Diésel (\$USD)

Item	Costos Mensuales en \$USD	\$USD/km
<b>Costos Fijos Totales</b>	\$4.947,86	\$0,83
Costos Administrativos	\$170,64	
Costos Operativos	\$170,72	
Mantenimiento	\$174,37	
Personal	\$2.310,60	
Servicios y Consumibles	\$217,62	
Matriculación	\$101,13	
Seguros	\$192,58	
Costos Colectivos	\$1.408,78	
Costos Administrativos adicionales	\$201,43	
Costos variables (combustible, lubricantes, repuestos)	\$6.554,68	\$1,12
<b>Costo Mensual por Bus</b>	\$11.502,55	
<b>Costo por km</b>		<b>\$1,96</b>

## Costo Operativo por km por Bus Eléctrico Articulado (\$USD)

Item	Costo Mensual en \$USD	\$USD/km
<b>Costos Fijos Totales</b>	\$4.947,86	\$0,84
Costos Administrativos	\$170,64	
Costos Operativos	\$170,72	
Mantenimiento	\$174,37	
Personal	\$2.310,60	
Servicios y Consumibles	\$217,62	
Matriculación	\$101,13	
Seguros	\$192,58	
Costos Colectivos	\$1.408,78	
Costos Administrativos adicionales	\$201,43	
Costos variables (combustible, lubricantes, repuestos)	\$3.506,17	\$0,58
<b>Costo Mensual por Bus</b>	\$8.454,03	
<b>Costo por km</b>		<b>\$1,42</b>

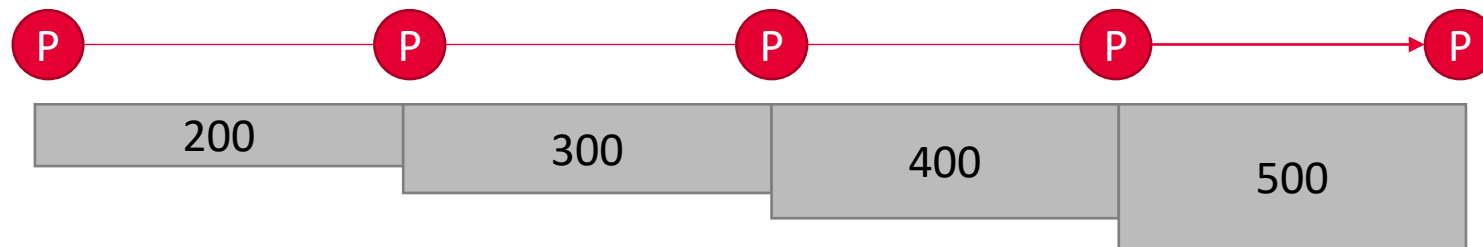
# Intervalos y Tipos de Vehículos

- Alta frecuencia reduce los tiempos de espera en origen o entre estaciones
- Alta frecuencia aumenta los kilómetros de servicio
- Vehículos de mayor capacidad reducen la frecuencia y son más costo-eficientes

→ 90 personas  
 →  $500/90 = 6$  buses  
 → Intervalo mínimo 10 min



→ 150 personas  
 →  $500/150 = 4$  buses  
 → Intervalo mínimo 15 min



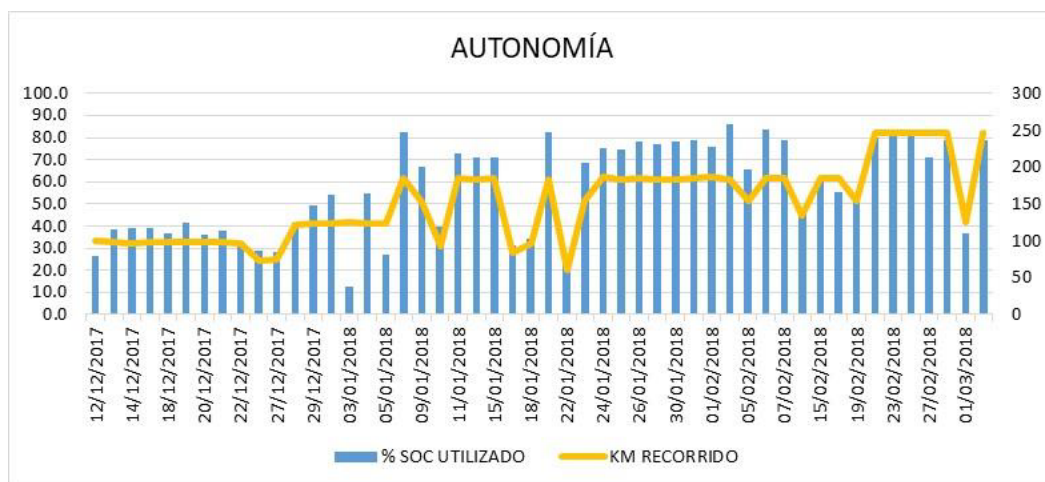
# Análisis de Costos por bus biarticulado y extra-grande

América Latina es pionera en sistemas BRT y dada su gran demanda de viajes en transporte público, los buses eléctricos articulados y biarticulados son una opción más económica que un sistema ferroviario (por ejemplo, metros o tranvías). Para la comparación de costos con modelos más grandes, utilizamos un autobús eléctrico biarticulado con capacidad para 220 pasajeros, y un biarticulado extra-grande de 30,7 m y capacidad para 256 pasajeros.

Parámetros	1.7 bus articulado diesel	1.3 bus biarticulado diesel	1.2 bus biarticulado eléctrico	1 AutoTram® Extra Grand Híbrido
Kilometraje (km)	119.668	91.511	84.472	70.393
Consumo de Diésel (l)	93.112	65.179	-	56.314
Costos Combustible (\$USD)	\$46.742,42	\$32.719,69	-	\$28.269,81
Consumo energético (kWh/y)			190.061	246.375
Número de conductores	4,08	3,12	2,88	2,4
Staff personal (conductores)	\$47.136,24	\$36.045,36	\$33.272,64	\$27.727,20

# Estrategia de Carga

- Los tests realizados por un bus BYD K11A en el corredor CCN en el 2018 muestran que un bus articulado eléctrico cubre parcialmente los 230 km que un bus a diésel recorre en promedio en un día típico. Eso significa que con una mayor carga de pasajeros, se requerirá carga de oportunidad durante la ruta, más aún, si se quiere electrificar toda la flota. Debido a espacio, uso energético y la Ventana de tiempo de cargo, es inviable que solo se recurra a carga en depósito.
- Los tiempos de pausa durante las horas pico y valle han sido calculados para determinar cuánto tiempo queda disponible para carga de oportunidad.



Tiempos de espera y duración en horas pico y horas valle para CCN

Periodo de tiempo	Tiempo de espera promedio (min)	Número de servicios # por bus	Carga de oportunidad
07:00 – 09:00 h	03:21	2	No recomendado
09:00 – 12:00 h	22:23	2+1	Recomendado para 15% flota de buses
12:00 – 15:00 h	20:44	2+1+2	Recomendado para 15% flota de buses
15:00 – 17:00 h	39:51	2+1+2+1	Recomendado para el 25%
17:00 – 19:00 h	20:09	2+	No recomendado
19:00 – 22:00 h	28:41	8	No recomendado

Capacidad de Batería, tiempos de carga y potencia de carga para diferentes modelos de buses para el CCN

	Capacidad de Batería (kWh)	% SOC Capacidad de Batería (kWh)	Potencia de carga (kW)	Tiempo de carga requerido para cubrir un ciclo (min)	# Cargas para finalizar la operación diaria
BYD K11A	438	350,4	200	15,81	2
YUTONG ZK6128BEVG	563	450,4	150	17,05	2
SOLARIS URBINO 18E	550	440	450	5,76	1
Volvo 790	396	316,8	150	17,28	2
Sileo 25	450	360	150	19,01	2

# Estrategia de Carga

Capacidad de Batería, tiempos y potencia de carga para diferentes modelos analizados para el CCN

	Capacidad de la Batería (kWh)	% SOC Capacidad de Batería (kWh)	Potencia de Carga (kW)	Tiempo requerido de carga para cubrir un ciclo (min)	# Cargas para finalizar la operación diaria
BYD K11A	438	350,4	200	15,81	2
YUTONG ZK6128BEVG	563	450,4	150	17,05	2
SOLARIS URBINO 18E	550	440	450	5,76	1
Volvo 790	396	316,8	150	17,28	2
Sileo 25	450	360	150	19,01	2

Consumo energético y autonomía alcanzada para diferentes modelos de buses en el CCN

BUS MODELS	km		28,8	57,6	86,4	115,2	144	172,8	201,6	230,4
BYD K11A	kWh	1,83	52,7	105,4	158,1	210,8	263,5	316,2	368,9	421,6
YUTONG ZK6128BEVG	kWh	1,48	42,6	85,2	127,9	170,5	213,1	255,7	298,4	341,0
SOLARIS URBINO 18E	kWh	1,5	43,2	86,4	129,6	172,8	216,0	259,2	302,4	345,6
Volvo 790	kWh	1,5	43,2	86,4	129,6	172,8	216,0	259,2	302,4	345,6
Sileo 25	kWh	1,65	47,5	95,0	142,6	190,1	237,6	285,1	332,6	380,2

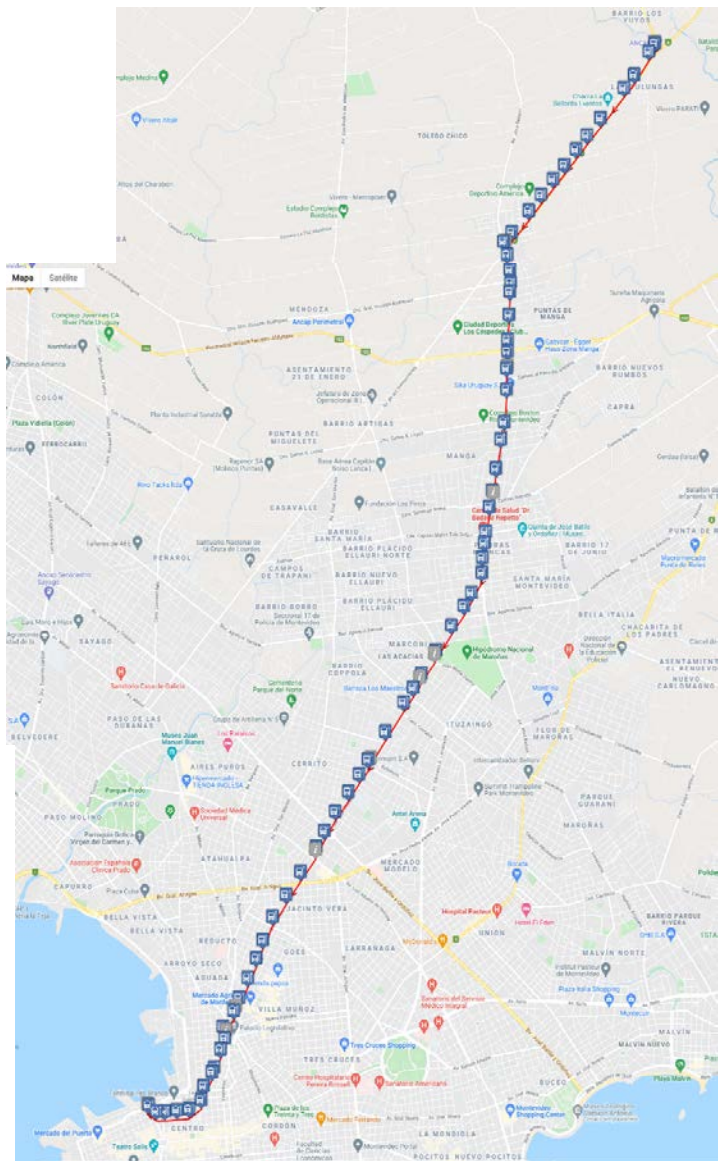
# Recomendaciones finales para CCN - Quito

- La decisión final de qué tipo de BEBs se debe comprar depende de un modelo financiero que considere diferentes modelos aceptados en el mercado ecuatoriano. El TCO (costo total de propiedad) debe incluir la infraestructura de la red y las estaciones de carga. Con estos resultados preliminares los buses articulados y biarticulados son viables en términos de satisfacer la demanda de pasajeros antes de la pandemia. No está claro hasta qué punto la entrada en operación del Metro afectaría la demanda de viajes en éste y otros corredores BRT paralelos a la ruta del Metro. Por lo tanto, habría que analizar diferentes escenarios, incluyendo los tiempos de retraso, los tiempos de parada y la propia operación. Los estudios preliminares dicen que sólo se necesitarán 50 nuevos autobuses articulados para el servicio en el CCN.
- Se debe realizar un estudio técnico en base a micro y macrodatos para estimar el tipo y número de BEBs, la viabilidad de carga de oportunidad en el Playón de la Marín y en la terminal de La Ofelia. En el caso de La Marín, la infraestructura de recarga sería útil también para otras líneas y operadores que también convergen en ese terminal.
- En el caso de los modelos que sólo disponen de sistemas plug-in (para carga lenta), podría ser necesario un cambio de horario para acoplarse a la frontera del %SOC, bien prestando servicio sólo para el servicio C1 (La Ofelia - Seminario Mayor) o bien con mayores tiempos de parada durante el día en los depósitos mientras los buses articulados diésel sustituyen el servicio. Por lo tanto, la estrategia final para la electrificación del CCN debería ser conservadora, comenzando con pocas unidades y aumentando la adquisición de BEBs en función de la fase piloto de pruebas y errores.

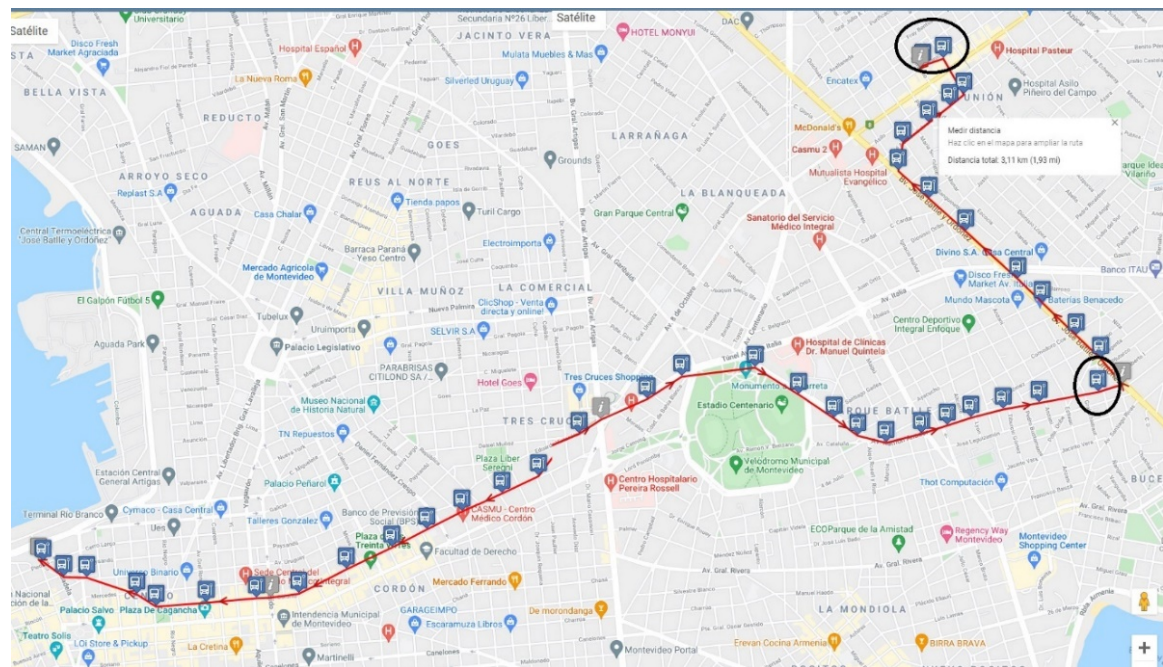
# Caso de estudio Montevideo

Montevideo es la capital de Uruguay, situada en la costa sur del país, en la orilla noreste del Río de la Plata. La población estimada para 2022 en el área metropolitana es de 1,76 millones de habitantes. Alberga aproximadamente un tercio de la población total del país. La ciudad de Montevideo propiamente dicha tiene una población de 1,3 millones de habitantes. Las líneas que se analizan en este informe son las líneas 169 y 143 operadas por CUTCSA, un reconocido operador de autobuses de Montevideo. La línea 169 tiene una longitud de 20,8 km, mientras que la línea 143 tiene 7,9 km. Para la línea 169 existen tres tipos de servicios: 1) 169: Ciudad Vieja - Toledo Chica (Dirección A: 19,95/Dirección B: 23,51 km), 2); 169-2: Aduana - Toledo Chico (A: 21,38/B:21,97 km), y 3) 169 SD: Terminal Ciudadela - Instrucciones (A:16,25/B:16,74 km). La línea 143 circula entre Ave Battle y Terminal Ciudadela.





**Línea 169 - 2019**

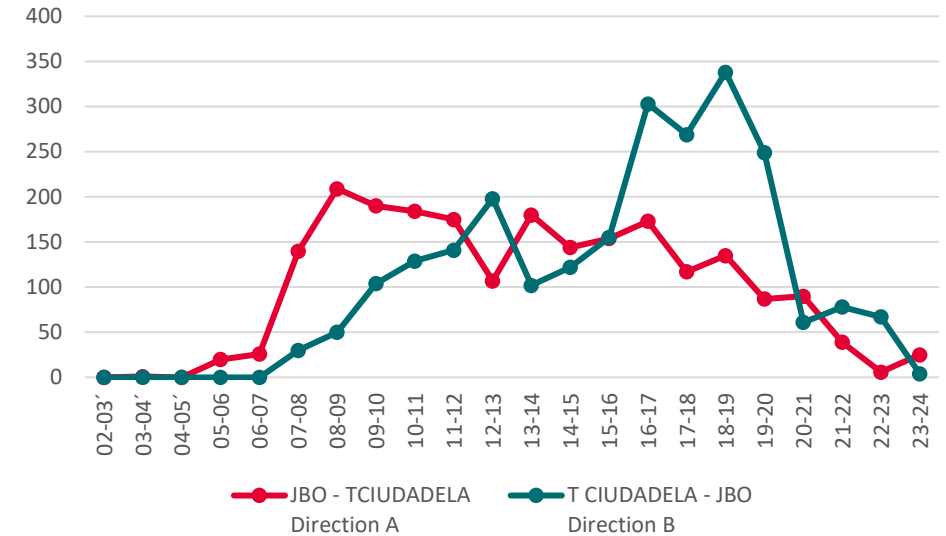


**Línea 143 - 2019**

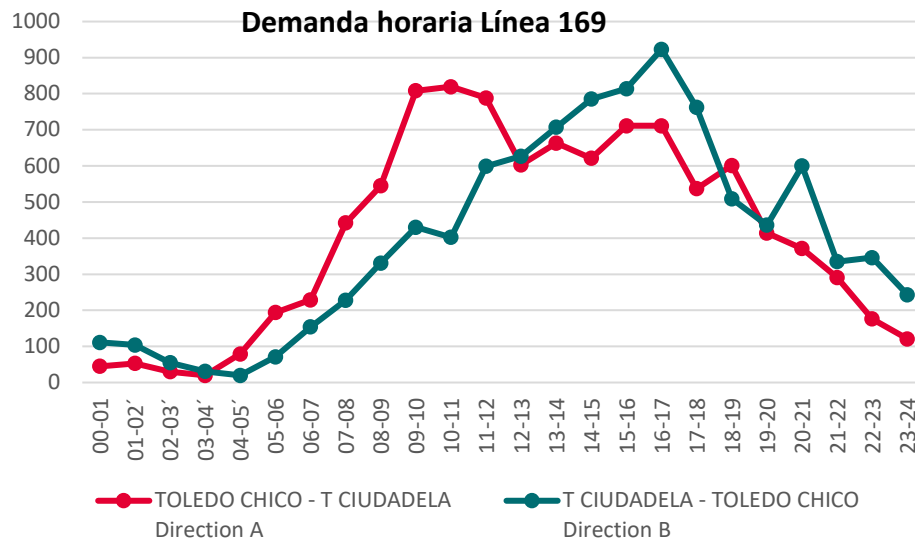
# Características Generales de las líneas 143 y 169

Parámetros	Longitud	Número de paradas, Terminales	Demanda anual de pasajeros	Recorrido en servicio	Ocupación promedio por bus	Max ocupación por bus	Flota Actual
	Km	(ambas direcciones)	(pas-trips)	km	(A/B)*	(A/B)	(12 m)
Línea 169	20,80	73/76	5.172.106	41,01	22,7 (SD:32,5)/21,85 (SD:29)	78/81	29
Línea 143	11,01	33/32	1.233.131	22,02	13,6/14,1	57/67	11
Parámetros	Kilometraje diario de flota	Kilometraje mensual de flota	Kilometraje anual de flota	Kilometraje diario por bus	IPK	Tiempo operativo promedio por día - flota	Velocidad comercial
	Km	km	km	km	(2018/19/20)	h	km/h
Línea 169	4.144,43	128.477,29	1.909.085,32	123,33	3,72/3,76/3,03 (SD: 5,11/5,21/4,7)	261 (max: 304; min: 177,8)	18
Línea 143	1.176,44	32.940,19	438.388,89	86,98	3,22	80,41 (max:95,47; min: 23,34)	20

**Demanda horaria Línea 143**



**Demanda horaria Línea 169**



La demanda de viajes muestra que la L169 tiene cinco veces más pasajeros que la L143. En el caso de la Línea 143 la hora punta por la mañana (7:00 - 11:00) se produce de José Battle y Ordóñez (JBO) a Terminal Ciudadela, es decir de noreste a suroeste, y por la tarde es lo contrario, siendo un pico alto entre las 16:00 y las 19:00 h dirección suroeste a noreste (Terminal Ciudadela - JBO). Para la Línea 169, las horas punta son de 07:00 - 10:00 dirección Toledo Chico - T Ciudadela, y de 16:00 - a 18:00 horas y a las 20:00 h dirección T Ciudadela - Toledo Chico.

# Especificaciones técnicas de algunos BEBs asiáticos y europeos

MARCA BUS	GVWR*	Capacidad	Autonomía declarada	Capacidad de Batería	Potencia de Carga	Tiempo de carga	Motor	\$USD	Velocidad max
	(ton)	pasajeros	(km)	(kWh)	(kW)	(h)	(power in kW; torque in Nm)	K	km/h
<b>Fabricantes Asiáticos</b>									
BYD K9A	19	87	250	324	80 (at depot)	4-5 h using 80 kW	AC synchronous; 2 x 150 kW; 2 x 550 Nm	370	70
GOLDEN DRAGON PIVOT E-12	19	79	Not found	345	75 (at depot)	4-5 h	Max P: 258 kW; Max T: 3,500 Nm	-	69
YUTONG E12	18,5	90	250	375	≥ 60 - ≤150 (at depot)	4-5 h, depending on charging power	240 kW; 2850 Nm	360	69
<b>Fabricantes Europeos</b>									
SOLARIS URBINO 12E	19	65	200	125 (high power); 396 (high energy)	450/200/80 kW (at depot)	2 - 6 h	220 kW; max power 300 kW	615	80
VOLVO 7900 E	19,5	90	180	470	250 (at depot); 300 (panto)	depending on charging power	Max P: 200 kW; Max T: 19,000 Nm	-	80
SCANIA CITYWIDE LFE	20	100	180	240/330 (8/10 Battery Packs)	150 (at depot); 300 (panto)	depending on charging power	Max P: 300 kW; Nom T: 2,100 Nm	652	100

# Cálculo de Flota Eléctrica por capacidad de pasajeros

Tipo de bus	Bus actual	B1	B2	B3	B4
	75 p	65 p	79 p	90 p	100 p
Número de Buses requeridos Línea 143	7	8	6	6	5
Número de Buses requeridos Línea 169	17	22	18	16	14
Número total de buses requeridos con un capacidad de $X_{max} = 1,0$	24	30	24	22	19



Solaris Urbino 12 E – Poland



Golden Dragon Pivot E12 - China



Scania City LFE - Sweden



YUTONG ZK6128BEVG - China

# Análisis de Costos por bus/ Mensual y anual

Ambas líneas se conectan en la Terminal Ciudadela, por lo tanto, el análisis de prefactibilidad integra a ambas líneas como una sola red viable, dado que para la línea 143 la demanda de viajes no justifica la operación con BEBs únicamente para esta ruta.

<b>Consumo energético promedio para BEB 12 m (kWh/km)</b>		<b>1,03</b>
min kWh/km		0,82
max kWh/km		1,14
Tarifa por kWh para BEBs	Peak hour	\$0,363
	Flat hour	\$0,139
	Valley hour	\$0,075

## Costos operativos actuales para las líneas 143 y 169

Costos para ambas líneas		Costos en Pesos Uruguayos	Costos en \$USD	USD\$/km	USD\$/per bus-month
<b>Costos Totales por mes por bus</b>					<b>\$ 11.824,56</b>
Costos Operativos veh/km	Mes	\$ 523.371,00	\$ 12.037,53	\$ 1,838	\$ 4.493,925
Costos Operativos veh/hour		\$ 523.371,00	\$ 12.037,53	\$ 30,263	\$ 4.694,334
Costo mantenimiento veh/km		\$ 27.226,00	\$ 626,20	\$ 0,609	\$ 1.489,526
Costo Variable per veh/km		968	\$ 919,19		\$ 919,188
Kilometraje mensual por per bus (km)		2.445			
Kilometraje diario por bus (km)		163			
Costos Administrativos por mes	\$318.060,00	\$ 26.505,00	\$ 609,62	\$ 0,093	\$ 227,585
<b>Costos Totales por año para ambas líneas</b>					<b>\$ 5.675.788,134</b>

## Costos operativos mensuales y anuales con BEBs en ambas líneas

Costos para ambas líneas		Unit	Costs in \$USD	USD\$/km	USD\$/per bus-month
<b>Costos Totales por mes por bus</b>					<b>\$ 10.259,636</b>
Costos Operativos veh/km	Monthly cost	\$ 523.371,00	12037,533	\$ 1,838	\$ 4.493,925
Costos Operativos veh/hour		\$ 523.371,00	12037,533	\$ 30,263	\$ 4.694,334
Costo mantenimiento veh/km				\$ 0,268	\$ 655,581
Costo Variable per veh/km		2.519	\$ 188,21		\$ 188,211
Kilometraje anual por bus (km)		115.303			
Kilometraje mensual por bus (km)		2.445			
Costos Administrativos al mes	\$318.060,00	\$ 26.505,00	\$ 609,62	\$ 0,093	\$ 227,585
<b>Costos Totales por año para ambas líneas</b>					<b>\$ 4.924.625,180</b>

# Estrategia de Carga

Para ambas líneas, el kilometraje medio por autobús en un día es de 163 km, que es el que cubren todos los diferentes modelos. Sin embargo, la autonomía final dependerá también de otras condiciones externas como el estilo de conducción, la climatización en épocas de calor, las pendientes, la carga diaria, entre otras. Sólo con programas de simulación específicos que introduzcan las variables mencionadas, se podrá determinar con exactitud la autonomía de un BEB. Con esta primera visión de conjunto, la carga de oportunidad podría no ser necesaria.

MODELO	Energía Nominal (kWh)	Energía utilizable (kWh)	Autonomía * (km)	Potencia de Carga (kW)	Tiempo requerido para carga lenta (h)
BYD K9A	324	243	236	80	2
GOLDEN DRAGON PIVOT E-12	345	258,75	251	75	2
YUTONG E12	375	281,25	273	150	1
SOLARIS URBINO 12E	396	297	288	400 (plug-in); 200 (panto)	0,42
VOLVO 7900 E	470	352,5	342	250 (plug-in); 300 (panto)	1
SCANIA CITYWIDE LFE	330	247,5	240	150 (plug-in); 300 (panto)	1

\* Calculado con 1,03 kWh/km como media dada por los operadores que gestionan los 31 buses eléctricos existentes en Montevideo

# Recomendaciones Finales para las líneas 143 y 169 - Montevideo

- Para una primera electrificación de las líneas 143 y 169 se recomienda una compra progresiva de unidades para ver los impactos en la operación y los esquemas financieros. La flota total necesaria es de 24 vehículos para satisfacer la demanda y las necesidades de servicio. Para la estrategia de electrificación se debe realizar una viabilidad financiera y técnica que incluya las subvenciones, los métodos de operación y el desarrollo de capacidades.
- Por otro lado, un análisis de viabilidad técnica y económica debe incluir también los midibuses (de 8 a 10 metros de longitud), ya que la demanda de viajes se satisfaría con este tipo de autobuses.
- La factibilidad con micro y macrodatos es aconsejable para definir el tipo de buses en operación, la estrategia de carga, el itinerario, entre otros.

# Recomendaciones Finales

- La autonomía declarada no es un factor determinante para la selección de la mejor tecnología, ya que depende del ciclo de conducción, de las condiciones locales, es decir, de la necesidad de aire acondicionado, de la carga de pasajeros, de las pendientes, del tipo de carga eléctrica, entre otros factores.
- Se recomienda la electrificación de las flotas de autobuses latinoamericanas con líneas de alta demanda de pasajeros para que sea económicamente viable.
- Si los autobuses sólo se van a recargar en los depósitos, se recomienda seleccionar rutas en las que
  - los autobuses no recorren más de 200 km al día, si la vuelta al depósito para recargar entre ciclos no es posible o es muy ineficiente (kilómetros muertos),
  - las condiciones de tráfico deben permitir una velocidad de viaje relativamente alta, y
  - la demanda de pasajeros varía significativamente a lo largo del día, lo que permite que los cambios de tripulación sean más largos y que haya menos kilometraje por autobús y día.

# Recomendaciones Finales

- Para la factibilidad técnica y operativa de los casos en mención y otros, se requiere el análisis de micro y macrodatos de las rutas con simulaciones apropiadas. Al momento, como parte de la investigación doctoral en curso se está analizando rutas con sus respectivas simulaciones para Bogotá, Lima y Quito, gracias a la colaboración de operadores y municipios.
- Son bienvenidas nuevas rutas, idealmente con pendientes, y donde las autoridades o los operadores cuenten con información sobre geolocalización, demanda de viajes, itinerario, entre otra información.

# MUCHAS GRACIAS!

M.Sc. Alexandra Velasco  
*PhD (c) Technical University of Dresden*  
*IVI Fraunhofer Institute for Transport and Infrastructure Systems*

Email: [alexandra.velasco@ivi.fraunhofer.de](mailto:alexandra.velasco@ivi.fraunhofer.de)  
[alexandra.velasco@tu-dresden.de](mailto:alexandra.velasco@tu-dresden.de)

Linkedin: <https://ec.linkedin.com/in/alexandra-velasco-a911b636>