



WRI COLOMBIA

Transporte público en las ciudades sostenibles: Aspectos técnicos y financieros para la implementación de buses eléctricos en ciudades colombianas – P2

Taller online

16 de Abril de 2024

Zoom



Contenido de la sesión

1. Bienvenida del Ministerio de Transporte

Luis Eduardo Acosta – UMUS – Min. Transporte

2. Planeación estratégica de la operación y recarga

Rafael Muñoz – WRI Colombia

3. ¿Cómo hacer un mapeo de financiamiento?

Alejandra Achury – WRI Colombia

4. Planeación técnica y financiera de un patio con autogeneración

Alejandra Achury – WRI Colombia

5. Preguntas y respuestas



Nuestros oradores del día



Luis Acosta

Coordinador de la
Unidad de Movilidad
Urbana Sostenible
(UMUS)

Ministerio de
Transporte



Rafael Muñoz

Especialista en
transporte

WRI Colombia



Alejandra Achury

Analista técnica
financiera

WRI Colombia



Sandra Meneses

Coordinadora de calidad
del Aire

(Moderadora)

WRI Colombia



Bienvenida del Ministerio de Transporte

Luis Eduardo Acosta

Coordinador de la Unidad de
Movilidad Urbana Sostenible
(UMUS)



Planeación estratégica de la operación y recargas

Rafael Muñoz

Especialista en movilidad

WRI Colombia



¡Siempre hay oportunidades de cambio!
Desde la Movilidad Podemos aportar

Valledupar, Colombia

Ciudades con movilidad sostenible

Movilidad triple cero



0 muertes o enfermedades

Visión cero y sistema seguro



0 exclusión

Acceso equitativo para todos a los servicios básicos en las ciudades

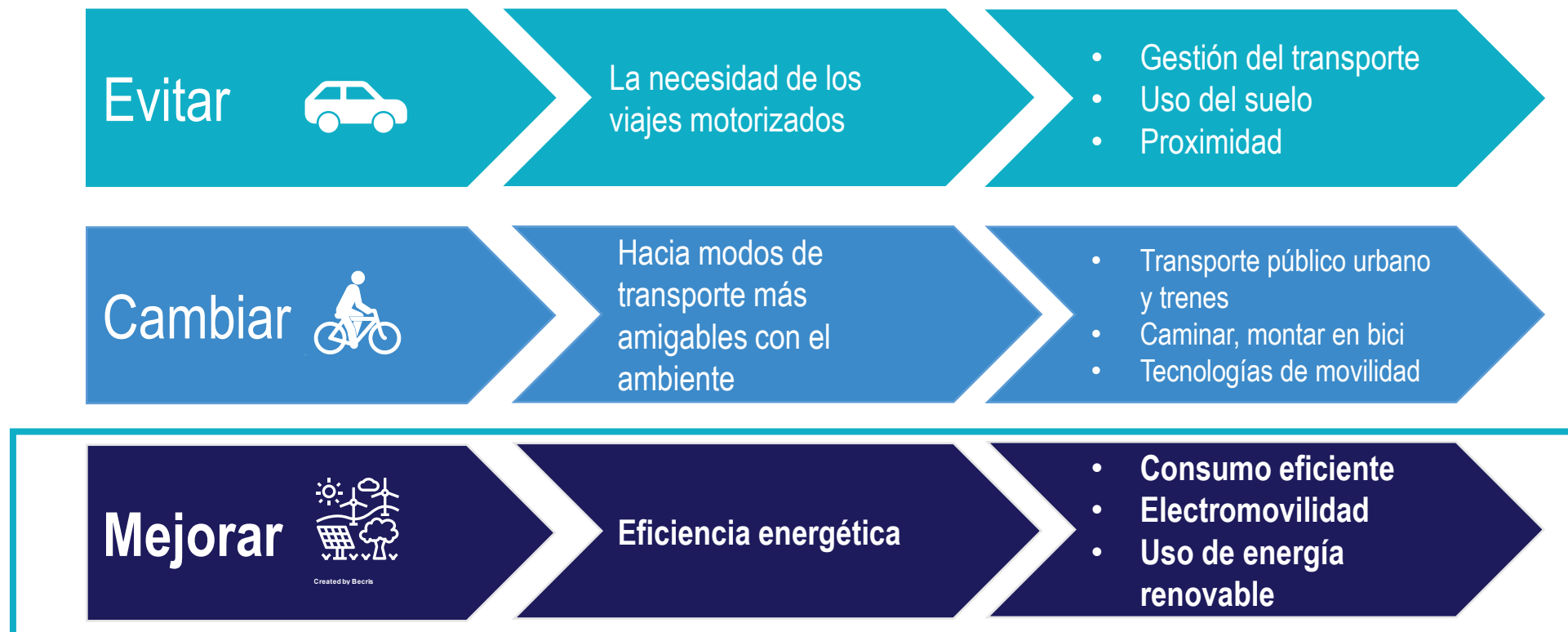


0 emisiones

Cambiar a modos más sustentables para reducir y evitar emisiones

Ciudades con movilidad sostenible

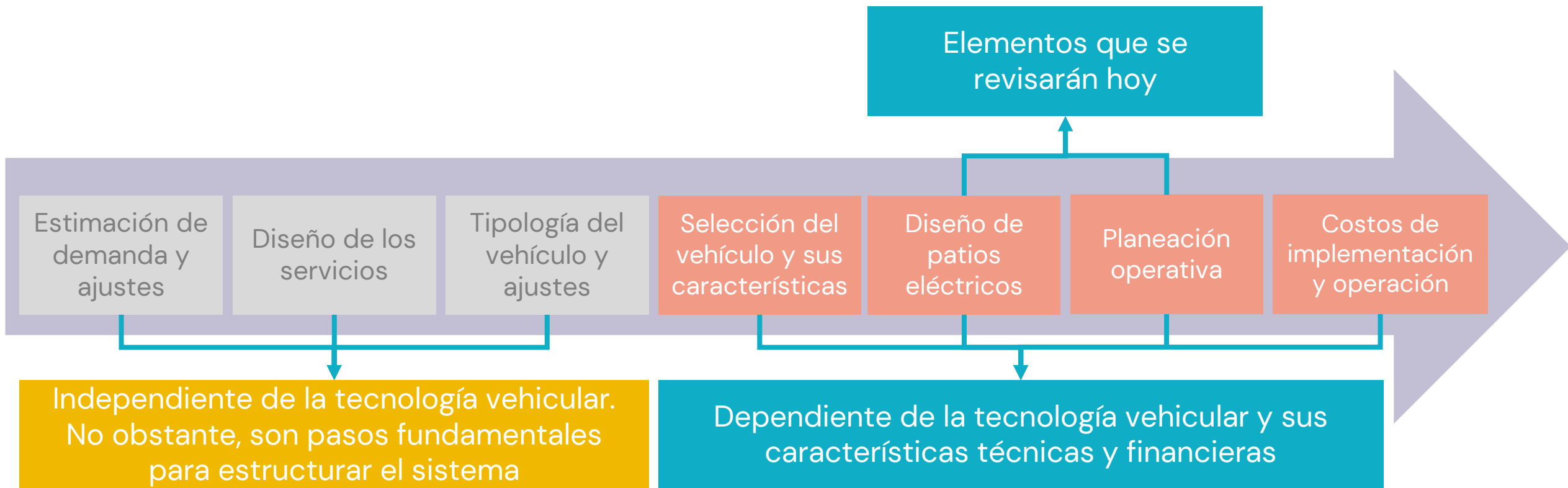
Enfoque Evitar – Cambiar – Mejorar



La electromovilidad, y los buses eléctricos son una de las herramientas para avanzar hacia tener ciudades sostenibles, resilientes y limpias, y de contribuir a una movilidad triple cero

Sistemas de buses eléctricos

Elementos involucrados en la planeación del transporte público



Sistemas de buses eléctricos

Planeación de un Sistema de transporte público

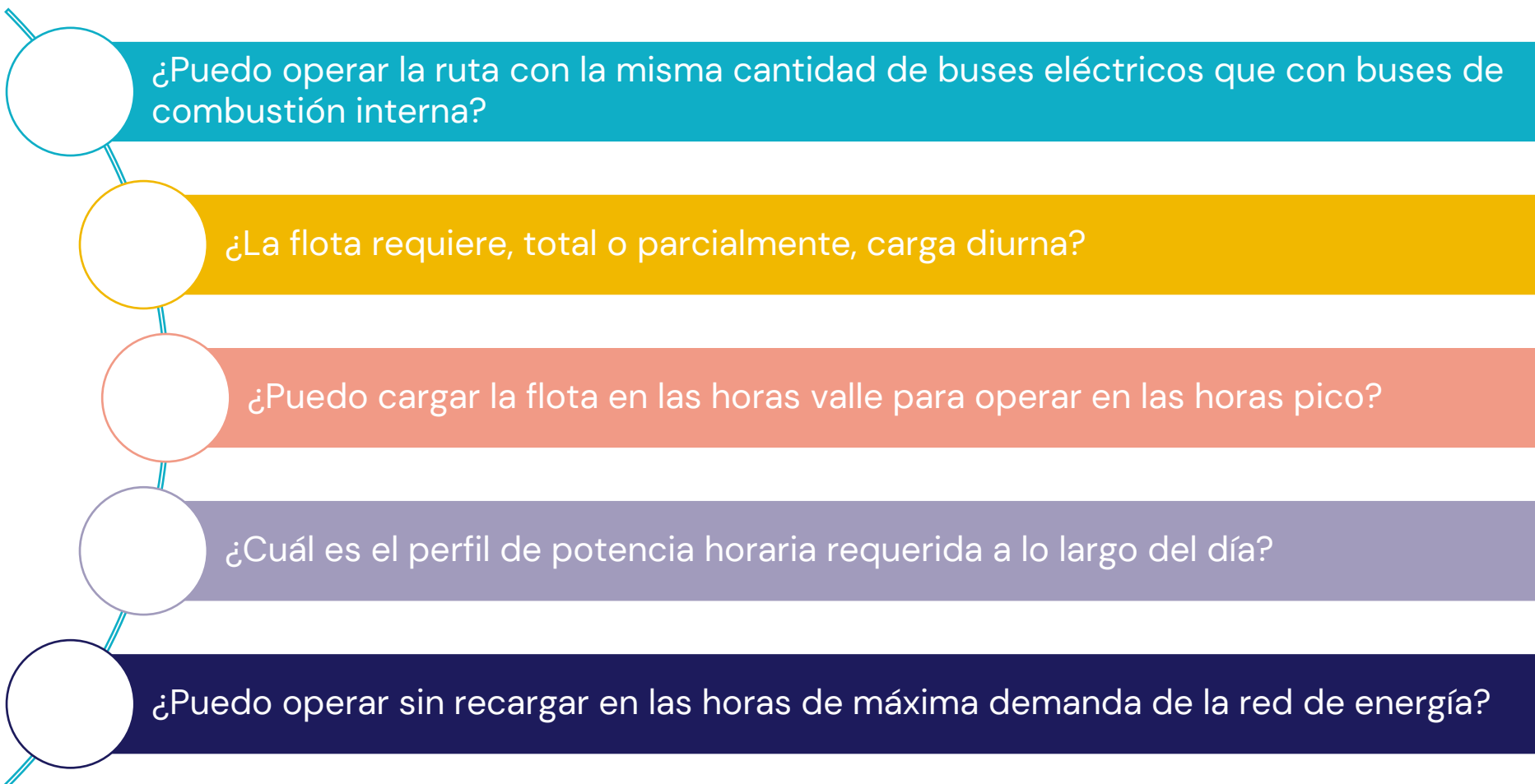


La planeación de los recorridos con buses eléctricos difiere de los buses a combustión interna por:

- Las limitaciones de autonomía de los vehículos
- Los tiempos de carga

Planeación de los recorridos

¿Qué preguntas tenemos sobre la planeación operativa?



Planeación de los recorridos

Análisis por ruta

Variables de entrada



Condiciones físicas de la ruta



Condiciones de servicio de la ruta:



Condiciones del vehículo

Proceso

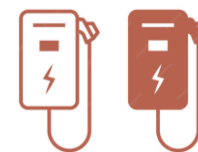
Evaluar el comportamiento de la batería de los buses de una ruta a lo largo del día, para identificar necesidades de recarga diurna y operación en horas valle.

En la noche, evaluar el tiempo de recarga del total de la flota

Resultados



Cantidad de buses, recargas al día y comportamiento de la batería a lo largo del día



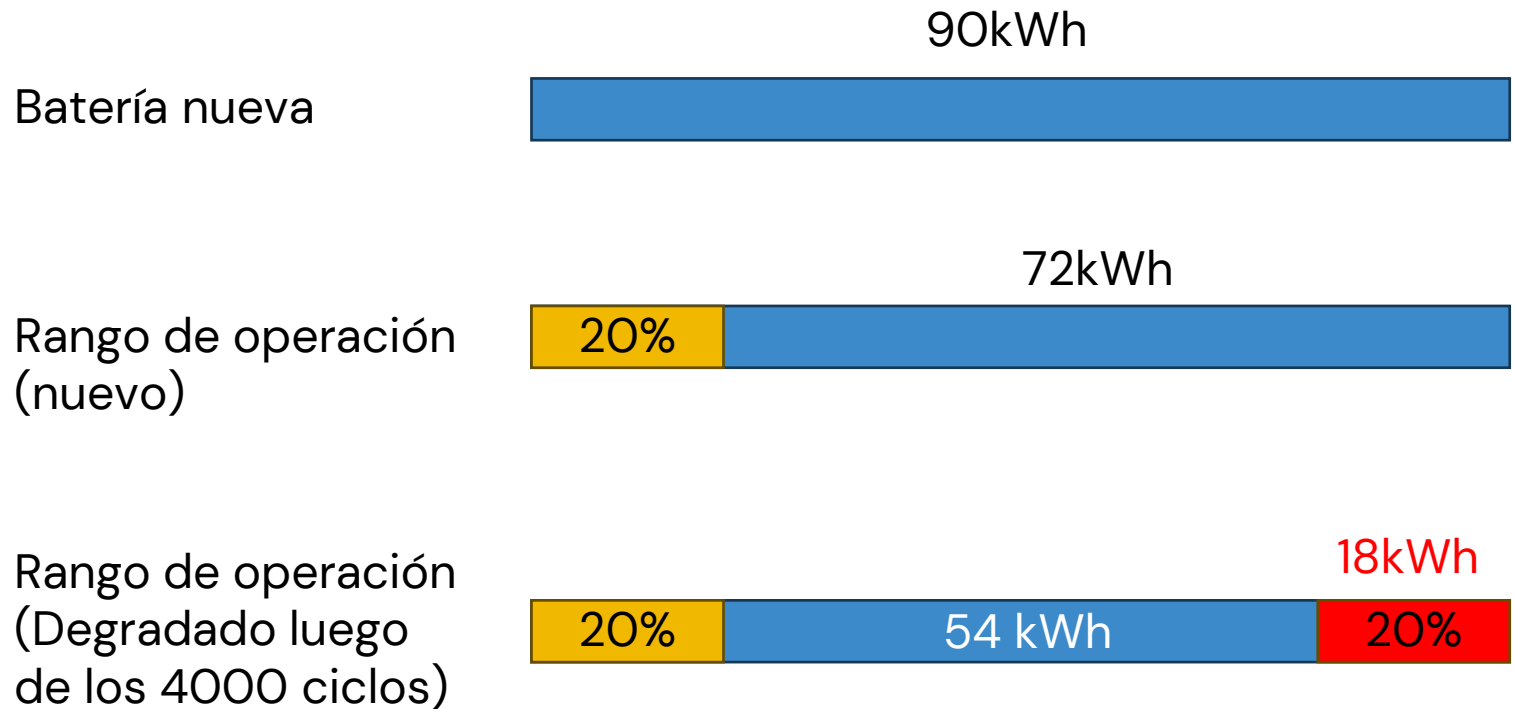
Cargadores requeridos



Potencia horaria y de diseño y consumo de energía diario

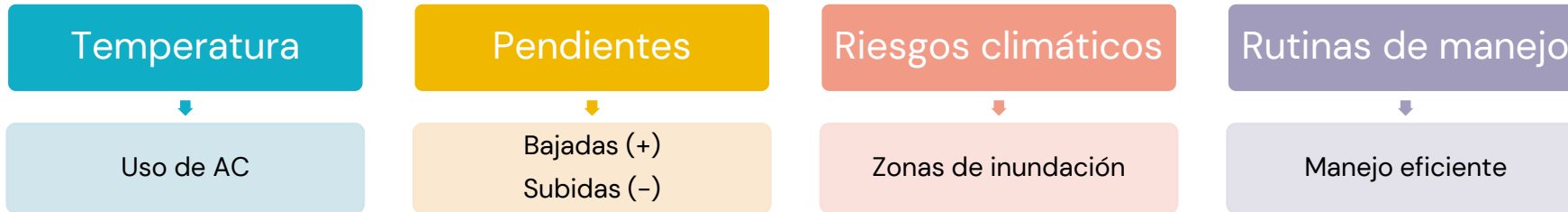
Datos de entrada – insumos para la planeación

Capacidad efectiva de las baterías (LiFePo)

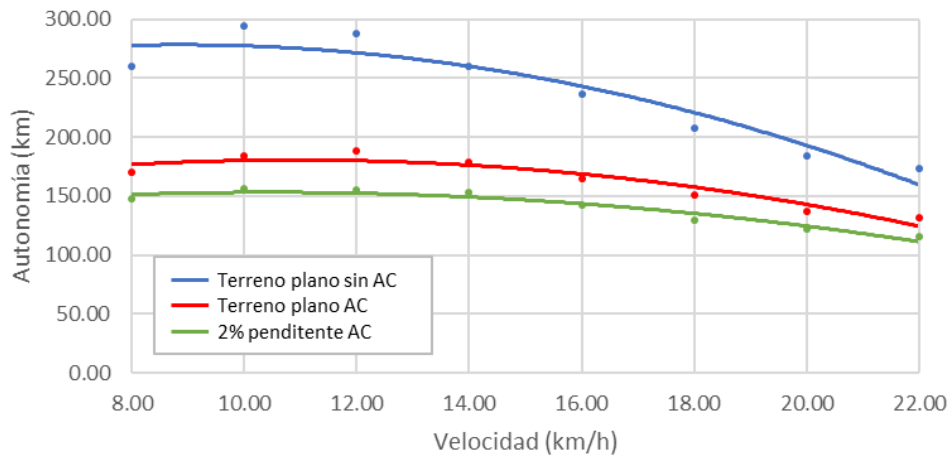


Sistemas de buses eléctricos

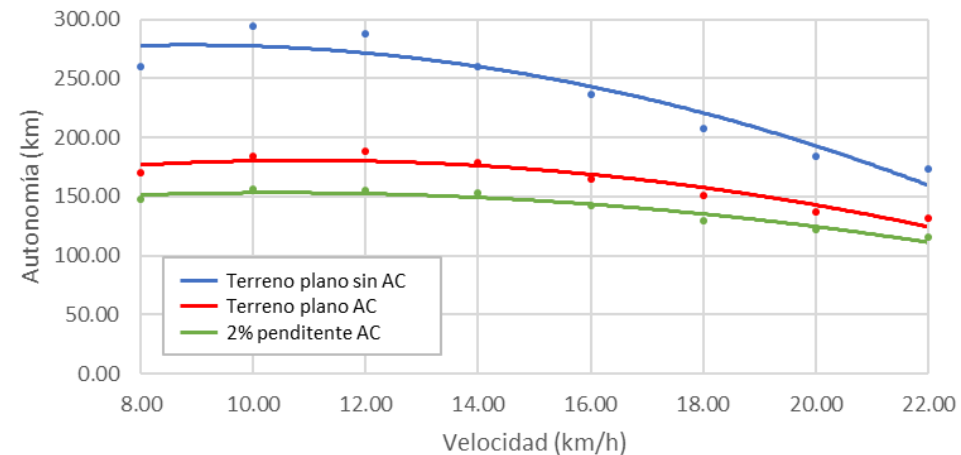
Área de operación (Clima/topografía)



Autonomía vs velocidad (AC)



Autonomía vs velocidad (pendiente)

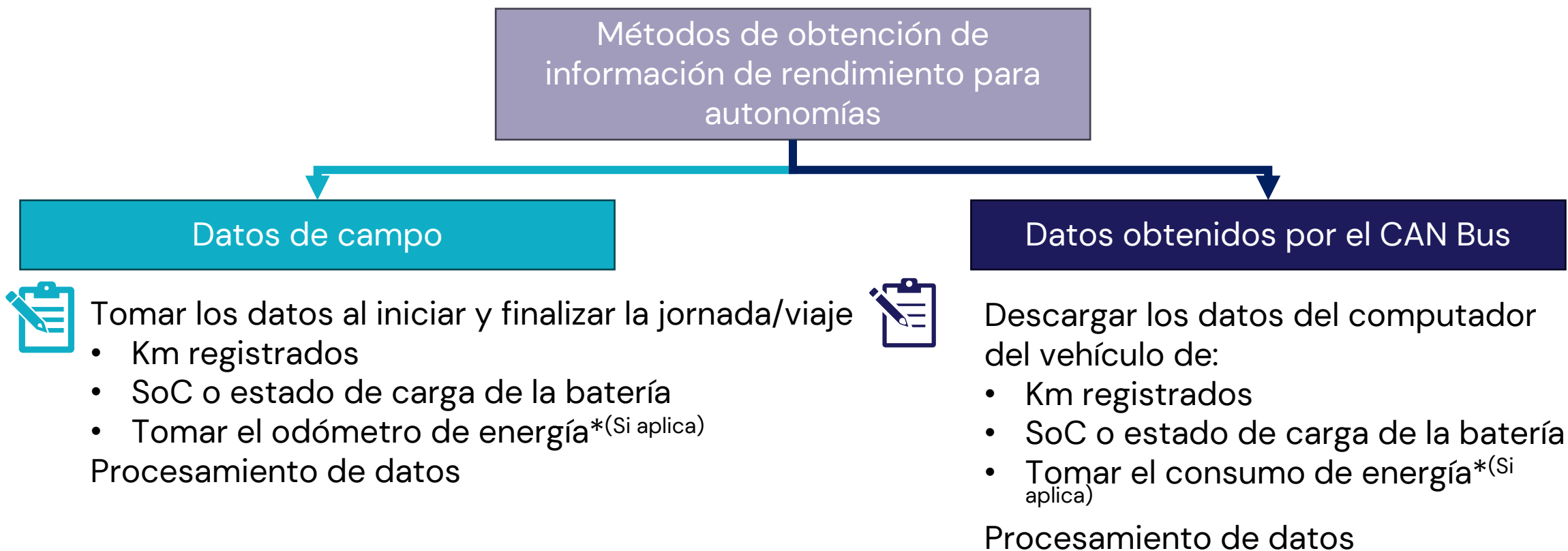


Importante:

De ser posible, realizar pruebas piloto in-situ para documentar rendimientos en condiciones locales

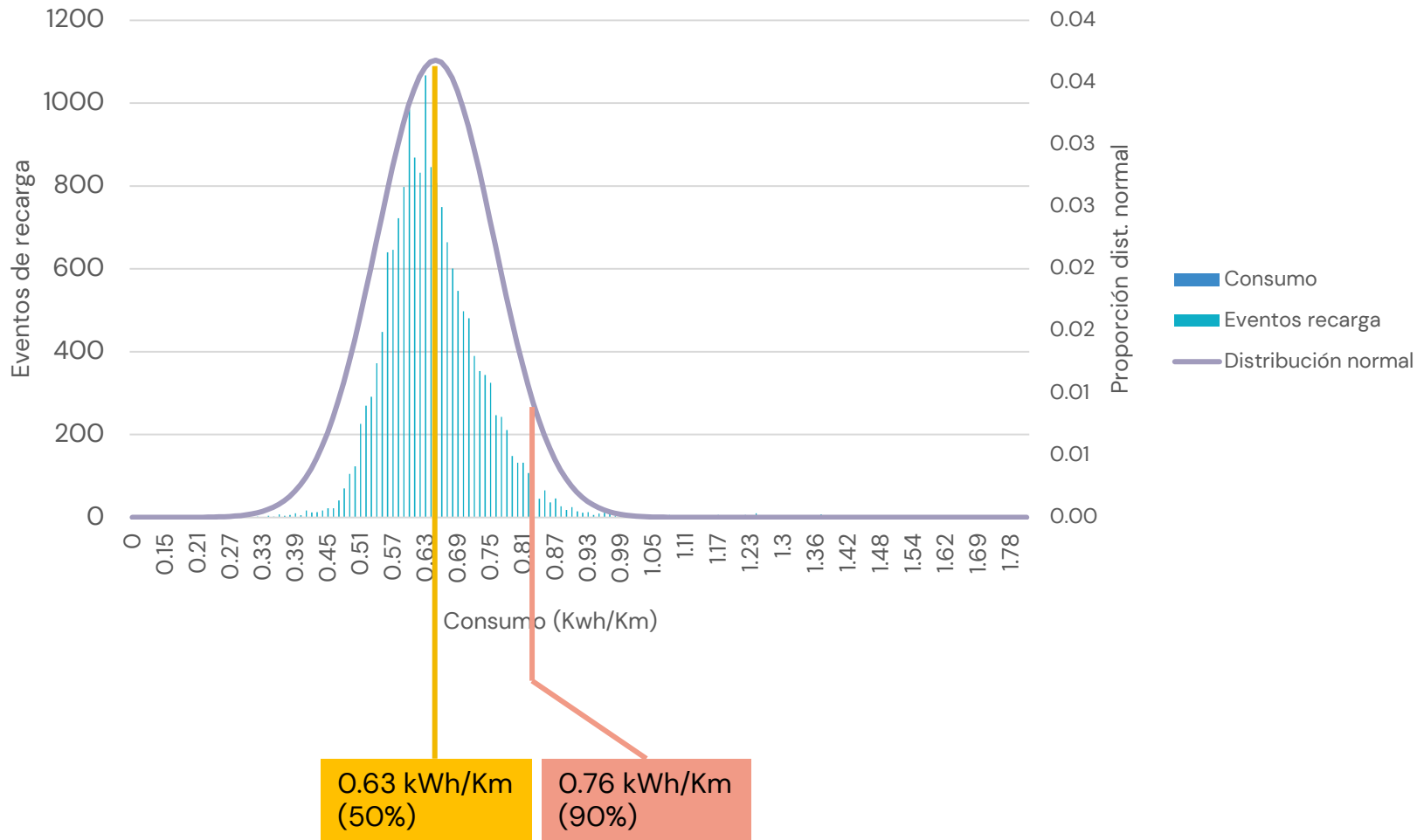
Pruebas in-situ para cálculo de rendimiento

Ejemplo de Guadalajara



Planeación de los recorridos

Ejemplo de consumos (kWh/Km), para un bus de 8.6m



Se recomienda tomar un dato conservador (90%) para garantizar una planeación conservadora con menor riesgo a fallos

Planeación de los recorridos

Ejemplo de una ruta con 7 vehículos (1 vehículo por fila)

- M** Descarga por distancia en tránsito (consumo * distancia a punto de inicio de ruta)
- 1** Descarga por operación (distancia recorrida en 30 minutos * consumo promedio)
- R** Recarga, kwh que puede recibir en 30 minutos (potencia * 30minutos/60minutos)

Fracción de análisis (30 minutos)

Se calcula la variación en el SoC de cada vehículo cada 30 minutos

5:00 - 6:00	6:00 - 6:30	6:30 - 7:00	7:00 - 7:30	7:30 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 9:30	9:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00
M	1	2	1	2	1	2	1	2	M	R	R
M	1	2	1	2	1	2	1	2	M	R	R
M	1	2	1	2		1	2	1	2	1	2
				M	1	2	1	2	1	2	1
ML	2	1	2	1	2	M	R	M	1	2	1
ML	2	1	2	1	2	M	R	M	1	2	1
ML	2	1	2	1	2	M	R	R			

17:30 - 18:00	18:00 - 18:30	18:30 - 19:00	19:00 - 19:30	19:30 - 20:00	20:00-20:30	20:30-21:00	21:00-21:30	21:30-22:00	22:00 - 22:30	22:30 - 23:00	23:00 - 23:30	23:30 - 0:00	0:00-0:30	0:30-1:00	1:00-1:30	1:30-2:00	2:00-2:30
2	1	2	1	2	1	2	1	2	M		R	R					
2	1	2	1	2	1	2	1	2	M		R	R					
1	2	1	2	M							R	R	R				
1	2	1	2	M							R	R					
			M		2	1	2	1	2	M				R	R	R	
			M		2	1	2	1	2	M				R	R	R	
2	1	2	M											R	R	R	

Desplazamiento de los 6 buses a los puntos de inicio de ruta

Regreso a patio y carga diurna en horas valle

Regreso a patios para carga nocturna

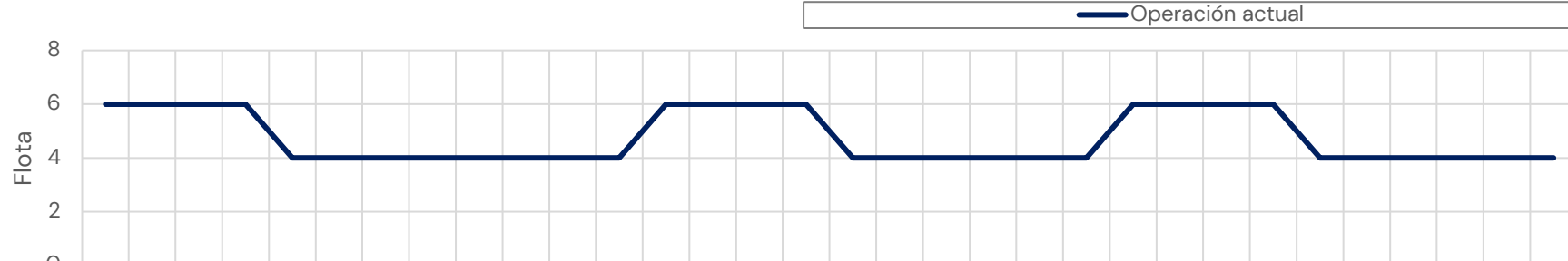
Carga nocturna con 4 cargadores simultáneos (en hora valle de la red)



Planeación de los recorridos

Estimación mediante modelos de Excel – estimación del estado de carga (kWh)

Frecuencia horaria (buses/h)



0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	158	149	141	132	123	111	99	86	74	72	132	160	158	149	141	132	123	111	99	96	156	156	154	145	137	128	119	107	95	83	70	58	46	44	44	104
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	158	149	141	132	123	111	99	86	74	72	132	160	158	149	141	132	123	111	99	96	156	156	154	145	137	128	119	107	95	83	70	58	46	44	44	104
154	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	158	149	141	132	123	111	99	86	74	62	50	38	29	27	87	147	145	132	120	108	96	84	75	66	57	49	37	34	34	34	34	34	34	94		
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	158	146	134	121	109	97	85	73	64	62	122	160	158	146	134	121	109	97	88	79	71	62	50	48	48	48	48	48	48	108	
83	83	143	160	160	160	160	160	160	160	160	160	147	138	129	121	112	100	97	157	155	143	131	119	106	98	89	80	71	69	129	160	160	160	160	160	160	160	158	146	134	121	109	97	85	83	83	
83	143	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	147	138	129	121	112	100	97	157	155	143	131	119	106	106	98	89	80	68	66	126	160	160	160	160	160	160	160	158	146	134	121	109	97	85	83	83
34	94	154	160	160	160	160	160	160	160	160	160	147	138	129	121	112	100	97	157	160	160	160	160	160	158	150	141	132	120	120	108	95	83	71	62	54	45	36	34	34	34	34	34	34	34	34	34

Inicio de operación, flota cargada

Recarga diurna, prepara la flota para la hora pico

Hora pico de la red de energía, no se recargan vehículos en este periodo

Carga nocturna, potencia 120kWh, un bus recibe 60kW cada 30 minutos

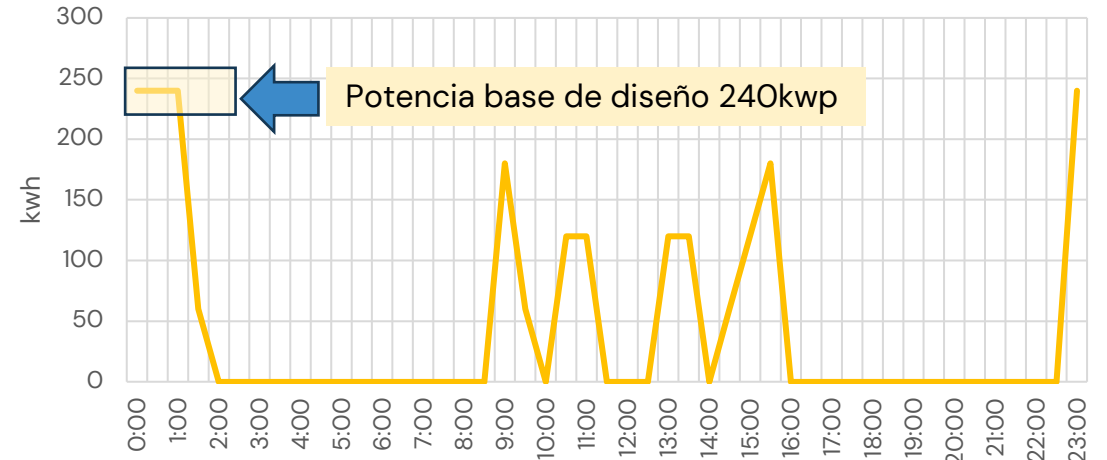
Modelos en excel

Resultados de la estimación (predimensionamiento)

Cargadores conectados simultáneamente a lo largo del día



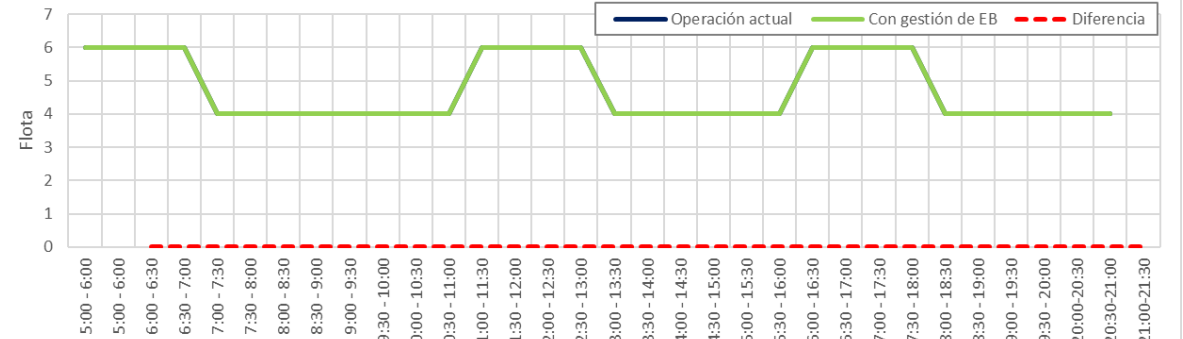
Consumo de kwh a lo largo del día



Hora valle de la red, energía más económica

Hora pico de la red, NO se recomienda recargar en este periodo

Comportamiento de la operación actual vs gestionada



Empresas de energía local

- Las empresas de energía son aliados imprescindibles con los que se debe trabajar muy de cerca.
- Trabajar de la mano podrá facilitar procesos, entender el estado de la red y disminuir costos, tanto de implementación como de operación.
- Involucrar a la empresa de energía permitirá minimizar costos de la electricidad, e incluso financiar (total o parcialmente) la infraestructura e incluso los vehículos eléctricos.



De: [Working with your utility \(ESBI – VEIC\)](#)

Empresas de energía local – algunas preguntas claves para iniciar el debate

¿La empresa de energía....

Ofrece incentivos para vehículos y cargadores?

Tiene alguna limitación de uso de la red? (periodos – potencias)

Tarifas especiales para grandes usuarios?, ¿Ofrece mejores tarifas si recargo a ciertas horas?

Tiene infraestructura adecuada para mi Proyecto?

Cuánto tiempo se demora en los trámites de gestión y aprobación de la conexión?

En cuánto tiempo podrá adaptar la red a mis necesidades?

De: [Working with your utility \(ESBI – VEIC\)](#)

Redundancia y respaldo

La redundancia y el respaldo son factores de gran importancia para garantizar las operaciones de carga cuando sucedan cortes de energía.

Estrategias para garantizar la operación ante cortes de energía

Garantizar la conexión del patio a más de 1 circuito de la empresa de energía

Contar con un Sistema de generación in-situ para emergencias (plantas diesel)

Sistemas de generación de energía solar + almacenamiento

Almacenamiento de energía con sistemas de hidrógeno

Conclusiones

- Predimensionar el Sistema permitirá entender aspectos claves de la operación como:
 - Potencia base
 - Cargadores
 - Cantidad de buses requeridos, y si son los mismos que si se operara con un sistema de buses a combustión interna
- Es un ejercicio clave para entender las limitaciones del Sistema y potenciales vulnerabilidades al año 7, con las baterías degradadas
- Es un ejercicio de prefactibilidad, que podrá cambiar una vez se tengan diseños del Sistema eléctrico del patio y el Sistema de recarga





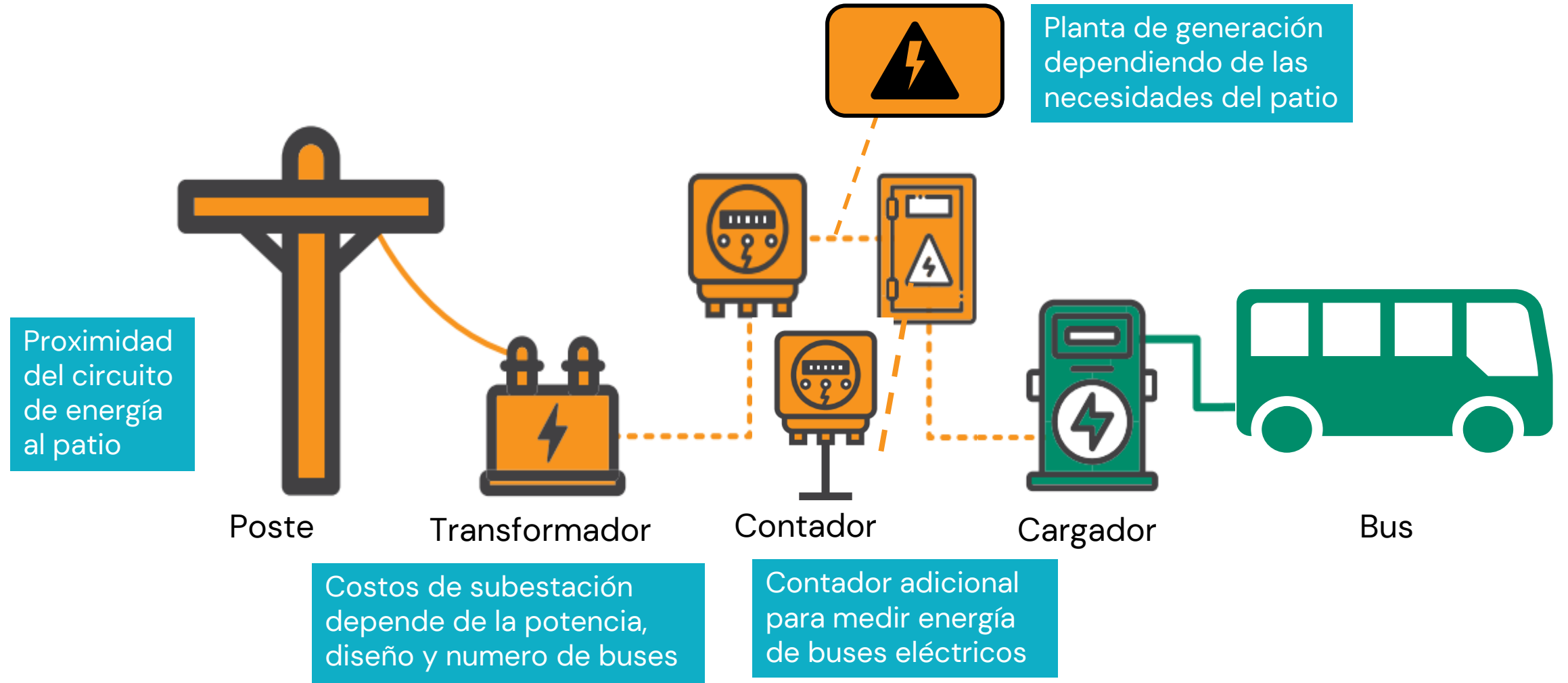
Evaluación financiera

Alejandra Achury

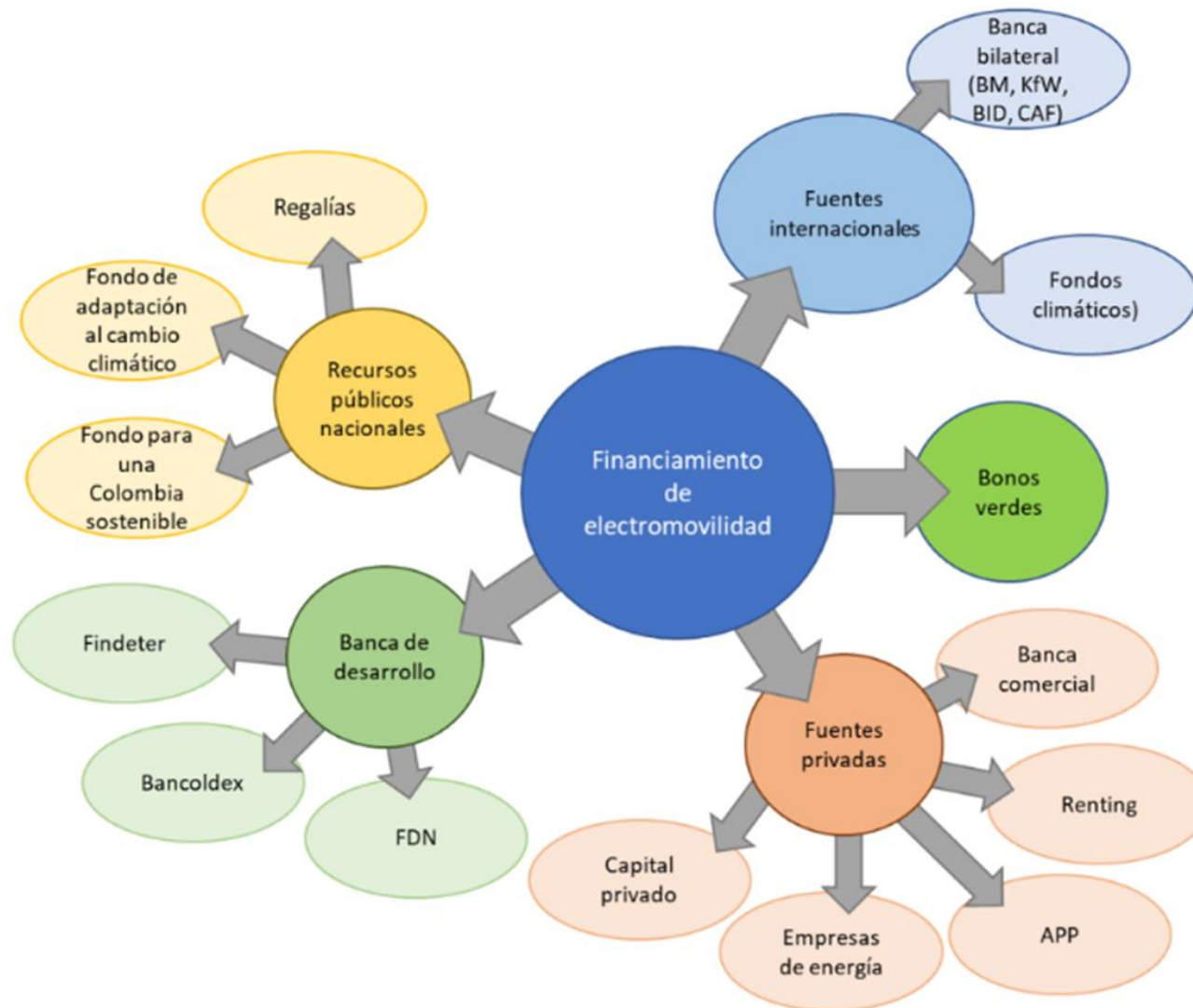
Analista técnica

WRI Colombia

Costos de infraestructura de carga: Variables y fijos



Consideraciones para las alternativas financieras



1. Tasas de interés y elegibilidad para tasas compensadas
2. Montos y termino de financiación
3. Elegibilidad de condonación de la deuda
4. Control sobre la propiedad del bus o las baterías
5. Oferta de asistencia técnica
6. Requerimientos, viabilidad o garantías de ministerios correspondientes

Comparación de las alternativas financieras

	Intereses	Termino	% a financiar	Condonación	Control propietario	Asistencia Técnica	Notas
Fuentes Inter.	Tasas menores al mercado	10+ Años	40% - 80%	Si, de acuerdo con elegibilidad	Si	Si	Enfoque en tecnología cero emisiones, respaldo gobierno nacional
Banca de desarrollo	Tasas compensadas y variables	10+ Años	60% - 100%	No	Si	Si	Cofinanciación con banco de primer piso, viabilidad y aprobación ministerial
Banca comercial	Tasas del mercado	7 - 10 años	Capacidad de endeudamiento	No	Si	Si	Programas de créditos verdes
Leasing	N/A	5 - 10 años	Capacidad de endeudamiento	No	Limitado	No	Opción de compra con precio reducido.
Cofinanciamiento de la Nación	N/A	N/A	40% - 70%	N/A	Si	Si	Buses bajas emisiones, requisitos Min. Transporte
Bonos verdes	Tasas menores al mercado	N/A	Hasta 100%	No	Si	No	Respaldo por capacidad de endeudamiento, Evaluación de impacto
Empresas de energía	Tasas menores al mercado	7 - 10 años	Hasta 80%	No	Mixta	Si	Financiamiento de batería



Integración de energía solar a proyectos de buses eléctricos

Energías renovables

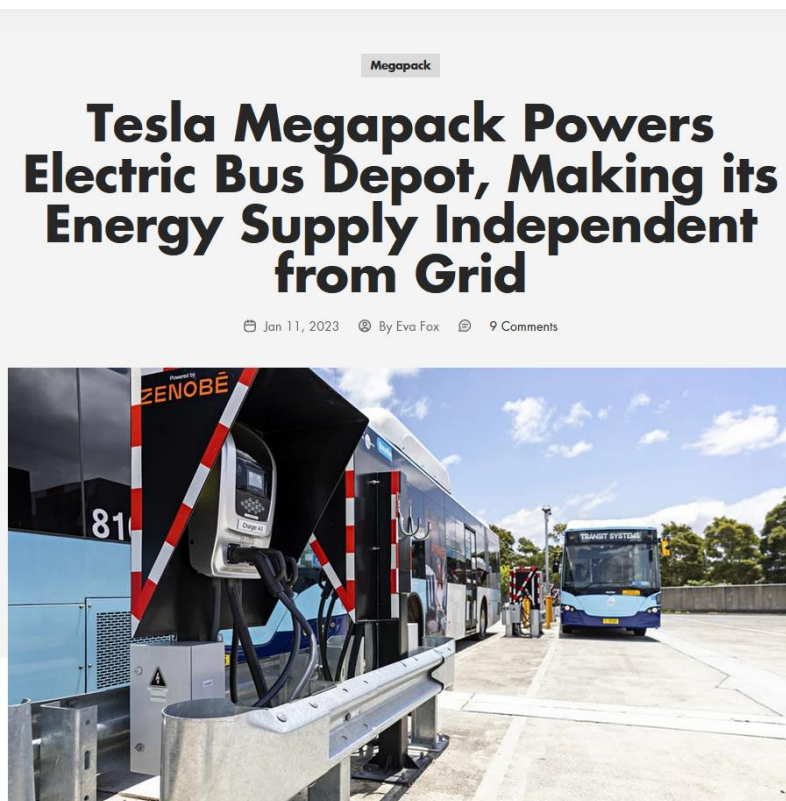
¿Pueden ser los patios rentables si se integran a un proyecto de generación de energía solar?

Integrar energías renovables potencia los beneficios ambientales del transporte público eléctrico, y su implementación podrá potencializar los resultados financieros del Proyecto a largo plazo.



Energía solar – en masificación en los sistemas de buses a nivel internacional

El cambio ya está iniciando, la masificación permitirá disminuir costos y hacer los sistemas más competitivos



Middle East's first solar-powered bus depot launched in Lusail, Qatar

In line with the Ministry of Transport's effort to provide an integrated and sustainable public transit network in Qatar, the new electric bus depot includes some 11,000 PV solar panels to generate power daily to feed its buildings.



Tipo de sistemas

Instalación On-Grid

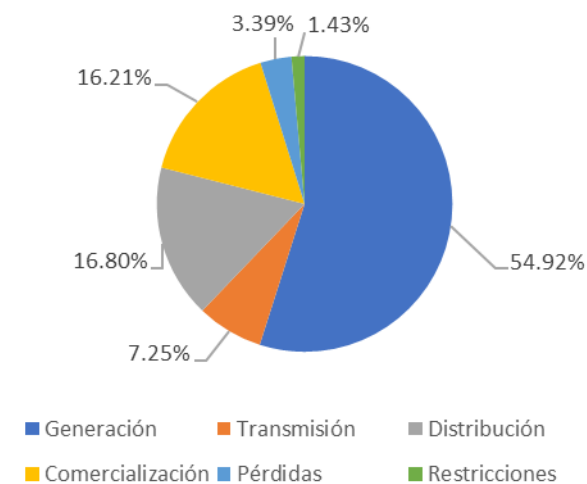
- Se conecta a la red eléctrica de la ciudad
- Se usa la energía producida en tiempo real y se vende el excedente a la red
- Se compra la energía faltante cuando sea necesario
- Precio de compra es mayor que el precio de venta

Instalación Off-Grid

- Independiente a la red eléctrica de la ciudad
- Se genera energía en el día, que se acumula en baterías para cuando se requiera
- Es más costoso por los elementos adicionales que tiene el sistema

Tarifa de energía

Composición tarifaria



La paridad energética se logra si se produce “el doble” de los kilovatios que se van a consumir.

Factores que influyen en la planeación del Sistema fotovoltaico



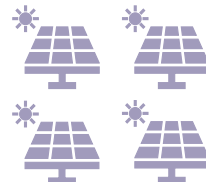
Atlas de irradiación solar
horaria (Irradiancia)



Demanda energética



Potencia instalada



Área requerida

Factores que influyen en la planeación del Sistema fotovoltaico



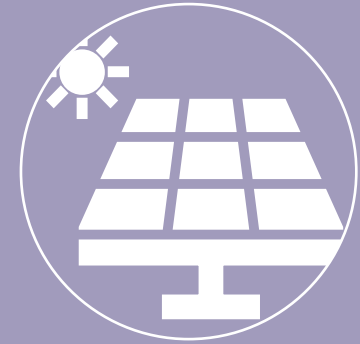
Atlas de irradiación solar horaria (Irradiancia)



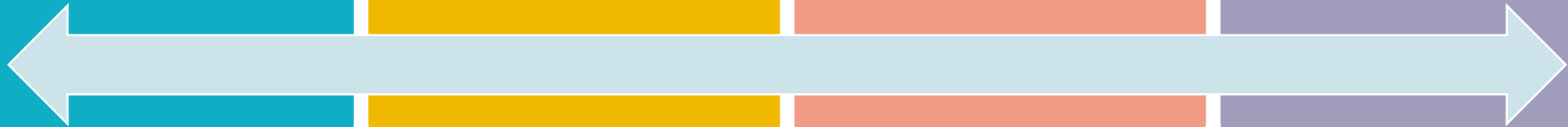
Demanda energética



Potencia instalada



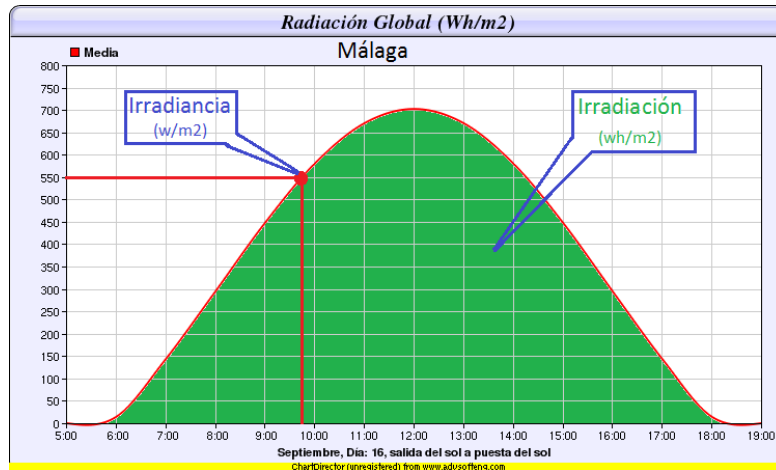
Área requerida



Irradiancia

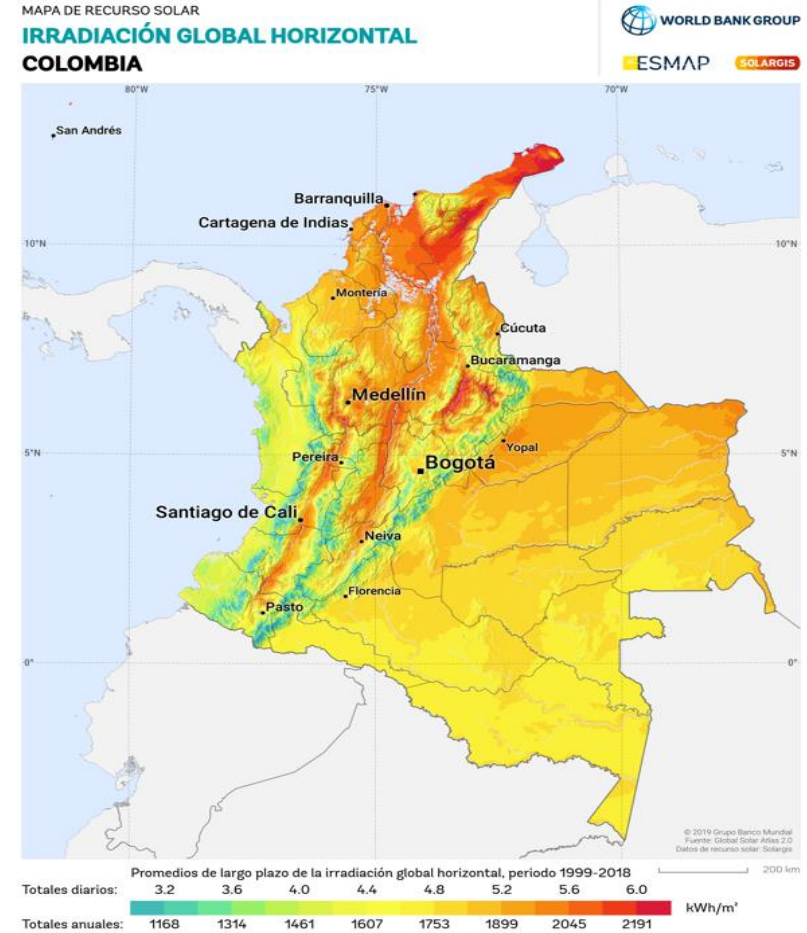
Irradiancia: Potencia de radiación solar por unidad de área (W/m^2)

Irradiación: Energía por unidad de area (Wh/ m^2)



Fuente: <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>

Recurso solar promedio en Colombia



Fuente: ESMAP del Banco Mundial

Factor temperatura

La temperatura puede afectar el rendimiento de una placa solar, por lo que necesariamente más calor no significa mejor rendimiento



A 40°C, el rendimiento se sitúa alrededor del 80%

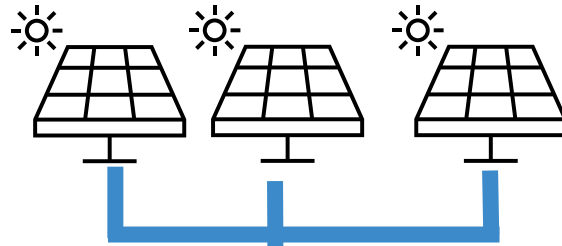
Temperatura optima entre 20°C y 25°C

Los paneles generan menores rendimientos a temperaturas más bajas, esto se debe a que hay menos rayos de luz

Los paneles solares no capturan el calor, sino los rayos de luz recibidos, por lo que más temperatura no significa más energía

Componentes del sistema

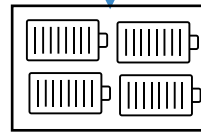
Por medio de la activación de las celdas, convierte la radiación en energía eléctrica



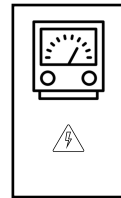
El regulador Controla el estado de carga de las baterías para garantizar un llenado óptimo y alargar su vida útil



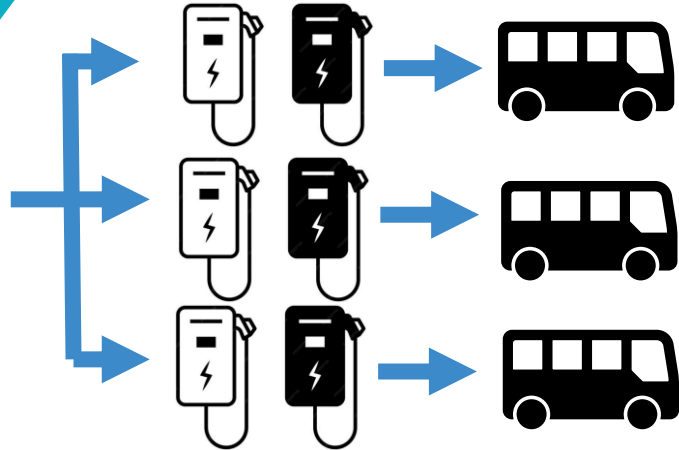
Almacenan la energía producida para uso posterior, cuando la generación es mayor que la demanda.



El inversor convierte la energía de DC a AC para su uso en los cargadores



La energía se transmite a los cargadores para cargar los vehículos



Mantenimiento del sistema

Limpieza de superficies de polvo, suciedad o residuos

Búsqueda y reemplazo de paneles fisurados

Revisión del cableado

Revisión de los componentes del Sistema

Dimensionamiento del sistema

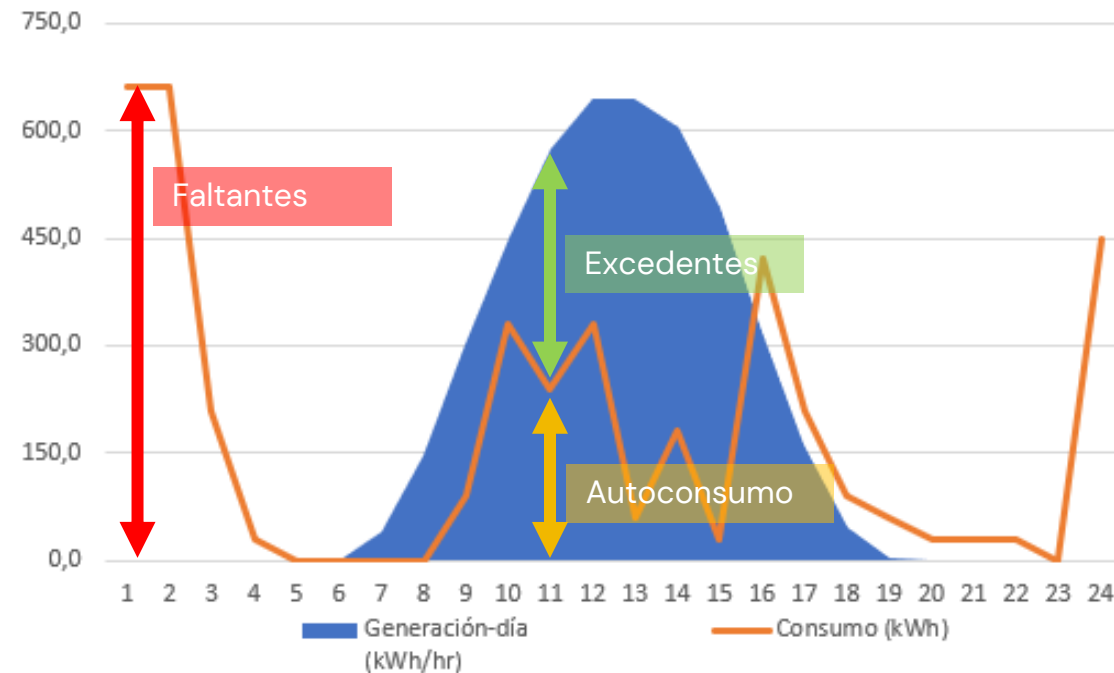
Potencia pico esperada

Cálculo de irradiación

Cálculo de áreas exedentes y faltantes

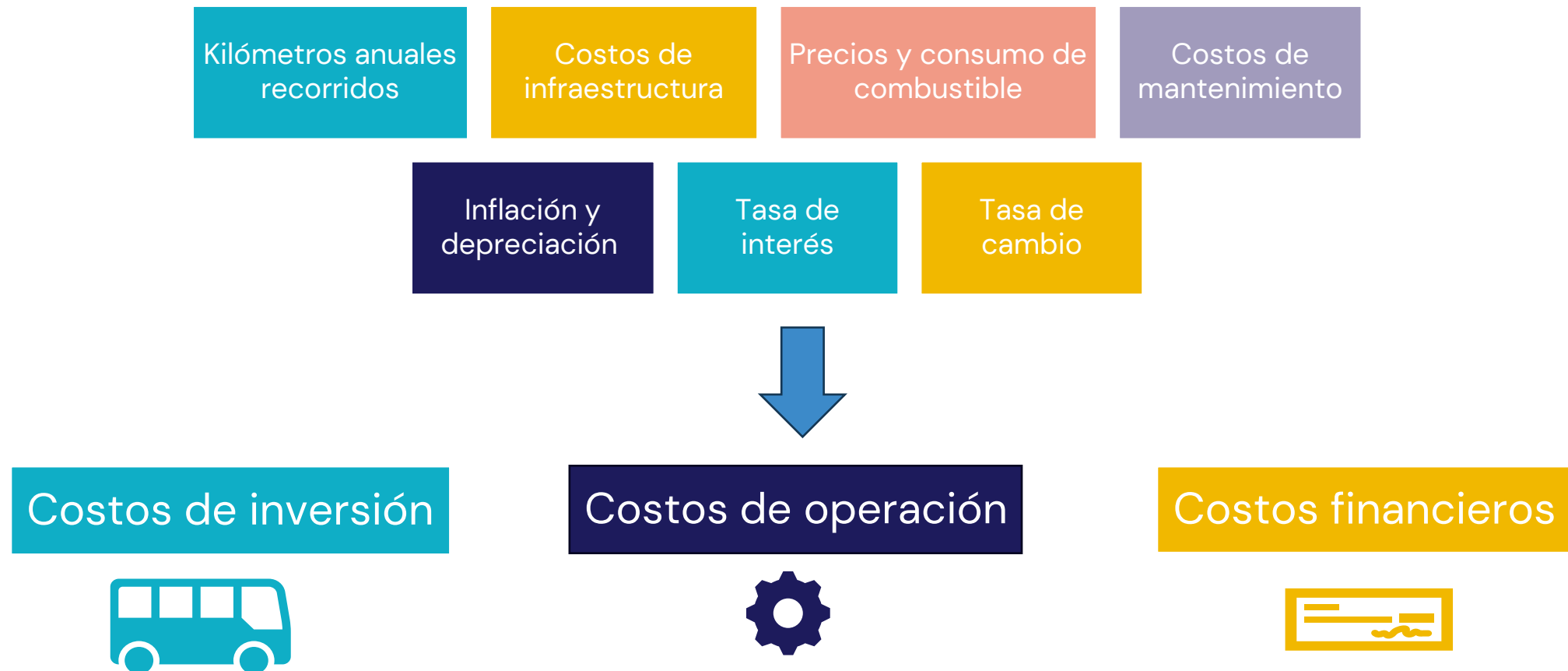
Ajuste de Capex y Opex

$$Area (m^2) = \frac{potencia(kWp)}{irradiancia(\frac{kW}{m^2})}$$

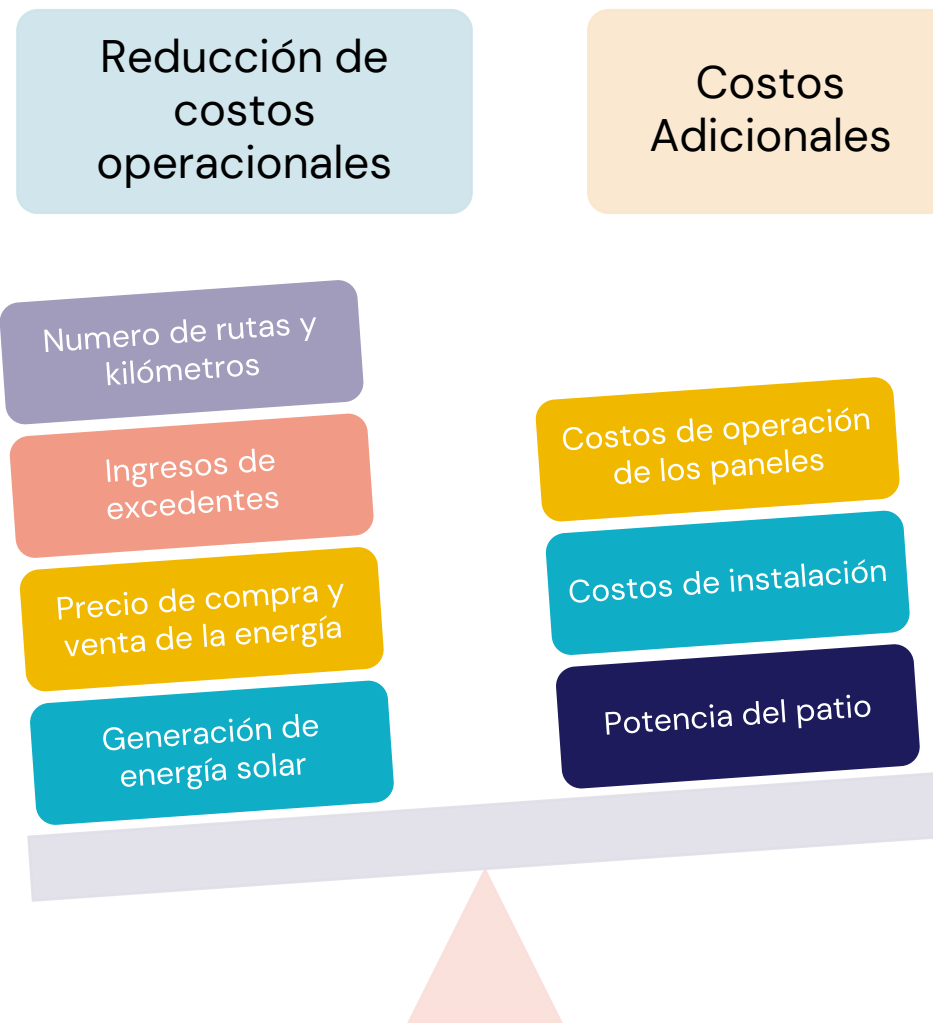


Costo Total de Propiedad

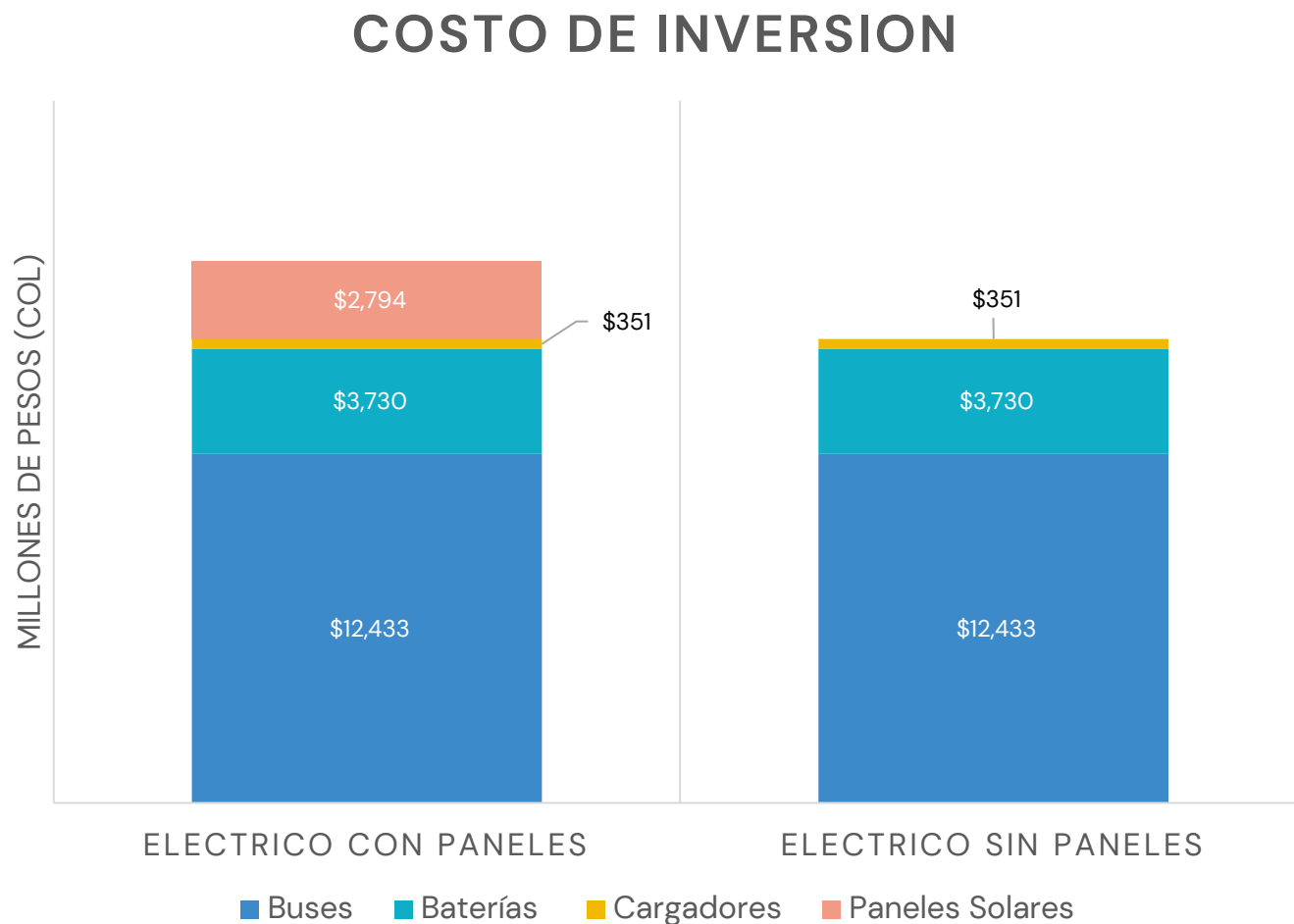
El costo total de propiedad (TCO) es una herramienta metodológica que evalúa los costos totales influenciados por la utilización del vehículo durante su vida útil. La evaluación incluye costos de adquisición, su operación y mantenimiento, y costos de financiamiento del activo.



Evaluación financiera de paneles solares

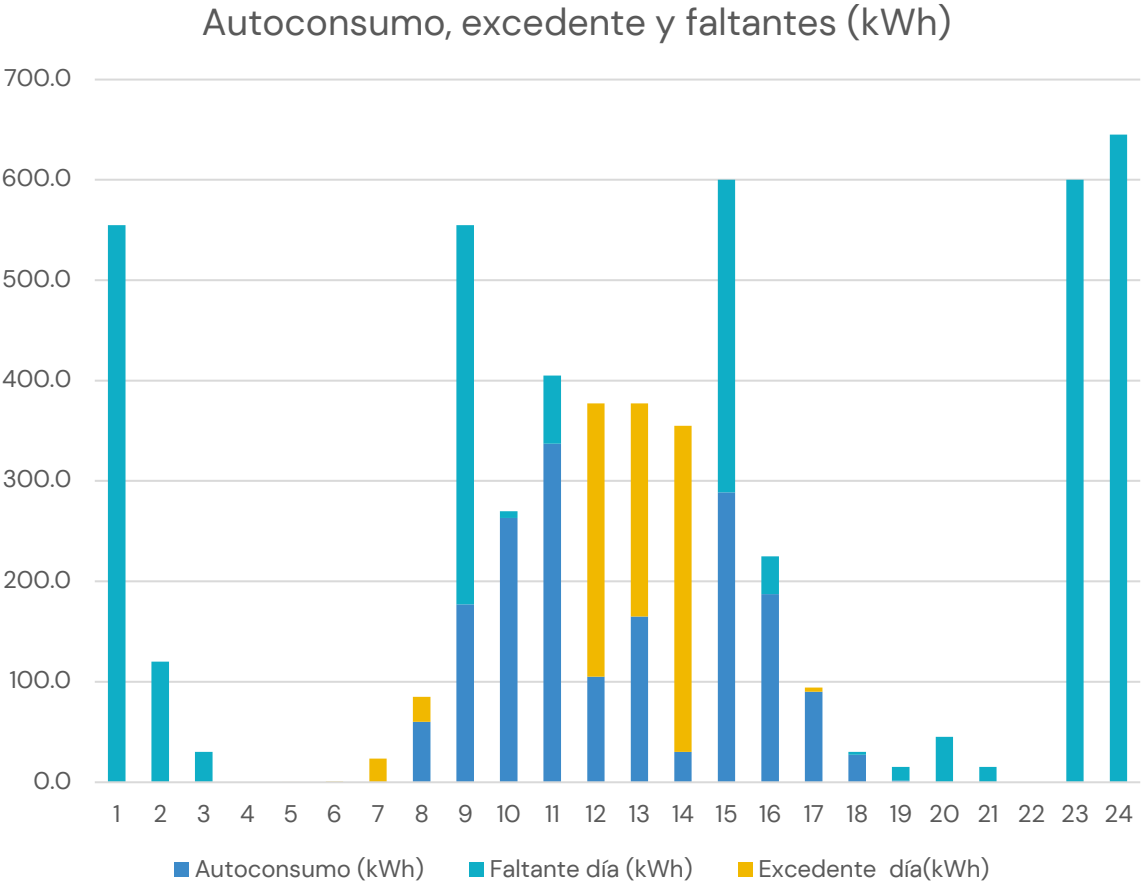


Incremento adicional en costos de inversión, dependiendo la capacidad requerida del patio



- Inversión para 20 buses eléctricos
- Paneles solares tiene vida de utilidad de 25–30 años
- Costo de instalación calculada por kwp, dependiendo de capacidad del patio
- **Incremento del 17% en costos de inversión**
- Resultados basados en promedios de distintas ciudades.

Tarifa de energía depende de la fuente de generación que se requiera al momento de recarga



Tarifa de compra

- Incluye generación, transmisión, distribución, comercialización, pérdidas

Tarifa de autoconsumo

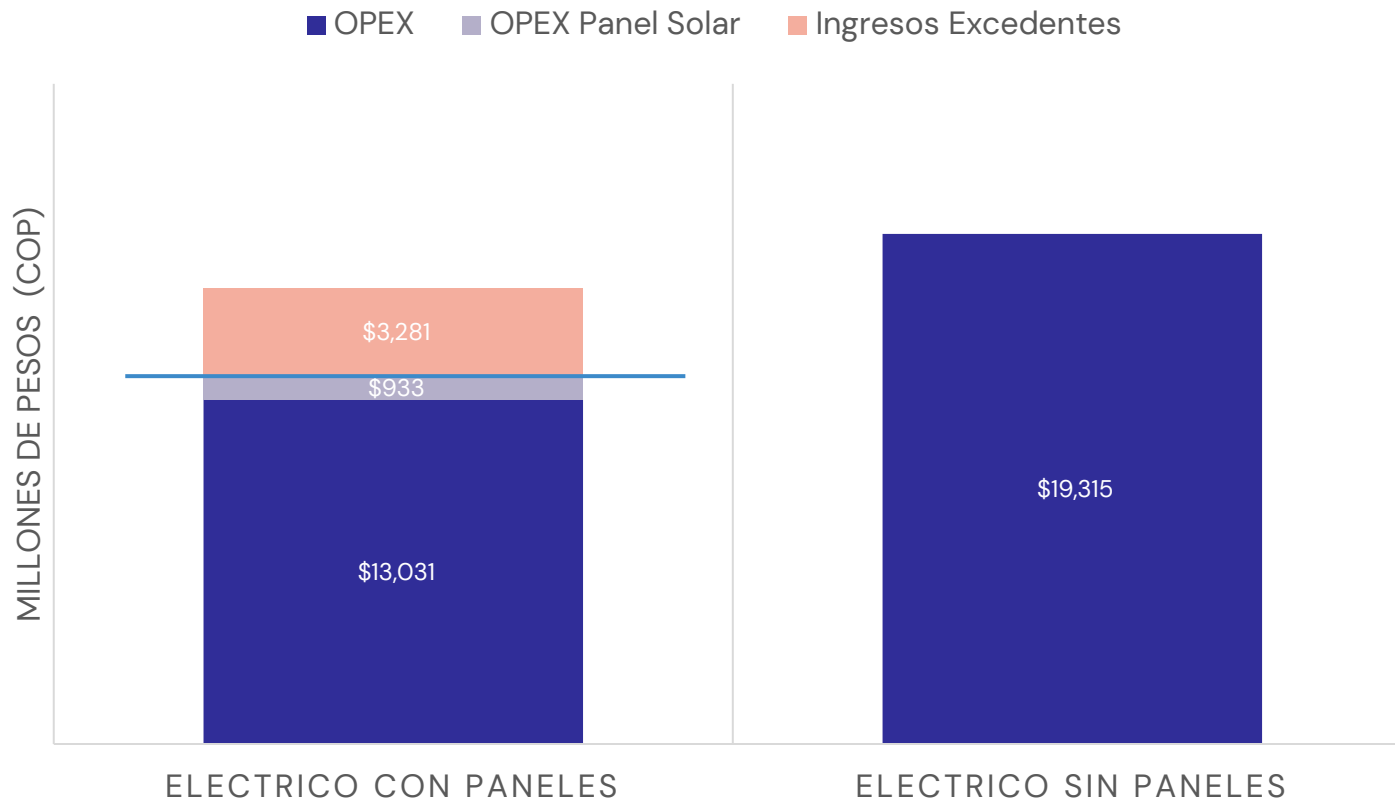
- Depende horas de irradiación

Tarifa de venta

- Costo de generación

Evaluar reducción total en costos de operación

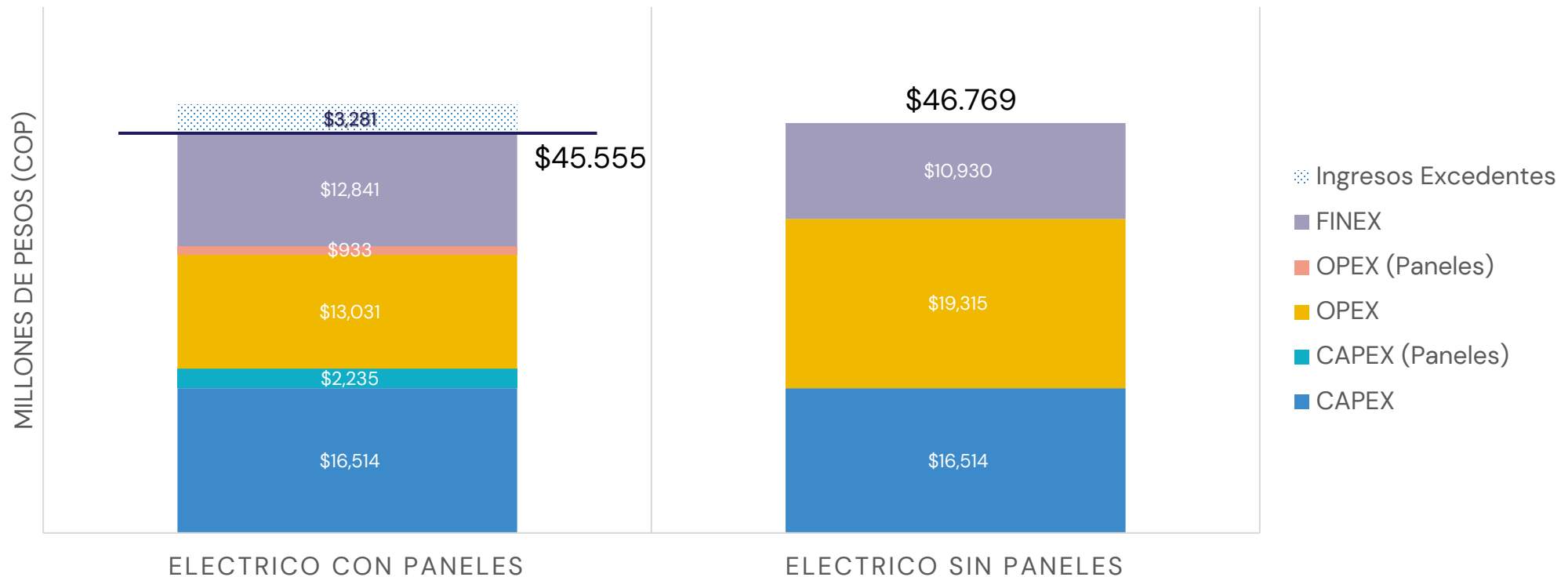
COSTO Y AHORROS EN OPERACION



- Reducción del 37% solo en gastos de operación en buses eléctricos
- Considerando los ingresos de la energía excedente y gastos de operación de los paneles, los **costos de operación se redujeron en un 38%**

Los paneles solares pueden reducir costos operacionales, asimismo, el costo total de propiedad, dependiendo de la ubicación, capacidad y diseño de operación

TCO BUSES ELECTRICOS





Preguntas de los asistentes



tumi



Otros espacios de intercambio de ideas



tumi

Infografía – Transforme su ciudad con transporte limpio: Implementación de buses eléctricos

- Abarca las ventajas de implementar buses eléctricos en las ciudades y los lineamientos del proceso de implementación y masificación de buses eléctricos. Se puede descargar [aquí](#)



Transforme su ciudad con TRANSPORTE LIMPIO: IMPLEMENTACIÓN DE BUSES ELÉCTRICOS

Los buses eléctricos ya son una realidad en Colombia. Estos vehículos cero emisiones ayudan a mejorar la calidad de vida, disminuyen la contaminación y reducen las enfermedades respiratorias en los habitantes de las ciudades. En esta era de la revolución urbana, es hora de impulsar proyectos que cuiden nuestra planeta y el medio ambiente urbano!

Ventajas de electrificar el transporte público urbano

- Mejora del entorno con menos ruido:** Los buses eléctricos son más silenciosos que los buses convencionales, por lo que las ciudades se vuelven más saludables y atractivas para sus habitantes.
- Los costos operativos son menores:** El costo por kilómetro recorrido es aproximadamente la mitad que el de un bus convencional, gracias a su menor consumo de energía y a su mantenimiento considerablemente menor.
- Disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias:** Al disminuir la contaminación del aire, los buses eléctricos disminuyen la exposición de los ciudadanos a contaminantes atmosféricos, lo que reduce el riesgo de sufrir enfermedades respiratorias.
- Mejoran la imagen de la ciudad y la administración:** El uso de los vehículos eléctricos reduce la contaminación del aire. La administración pública puede mejorar su imagen al adoptar tecnologías que mejoran la percepción pública de la ciudad, su progreso y su compromiso con el medio ambiente.
- Reducen la contaminación ambiental y combaten el cambio climático:** Al no generar emisiones directas, se disminuye la contaminación del aire en entornos urbanos y reduce la huella de carbono de los conductores al ser cero emisiones.
- Los gastos pueden ser cero:** Los gastos pueden ser cero para una provincia de energía solar, y la electrificación puede ser un mecanismo de financiación de energía de calidad.
- Se más ciudades:** Los viajes son más silenciosos y rápidos, los buses eléctricos son más saludables y pueden operar en áreas más saludables.
- Incrementan proyectos de energía renovable:** Los gastos pueden ser cero para una provincia de energía solar, y la electrificación puede ser un mecanismo de financiación de energía de calidad.

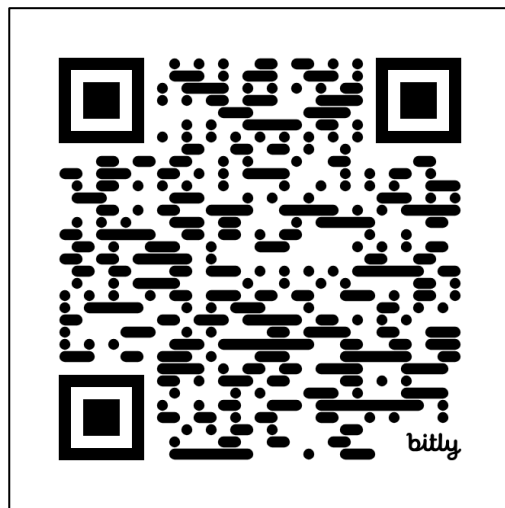
Ruta de estructuración e implementación de buses eléctricos en Colombia

- Estructura de gobernanza y definición de oportunidad:** El primer paso es definir la oportunidad y la estructura de gobernanza. Esto incluye la definición de la oportunidad pública que se desea implementar.
- Estudio de factibilidad:** Se realiza un estudio de factibilidad que evalúa la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto.
- Definición de modelo de negocio y fuentes de financiación:** Se define el modelo de negocio y se identifican las fuentes de financiación para el proyecto.
- Estudios de factibilidad y estructuración:** Se realizan estudios de factibilidad y se estructuran los detalles del proyecto.
- Diseño detallado de vehículos, pabellones y electrolinera:** Se diseñan los vehículos eléctricos, los pabellones de espera y la electrolinera.
- Contratación e implementación de pabellones y BUs:** Se contrata y se implementan los pabellones y los buses eléctricos.
- Operación y mantenimiento:** Se inicia la operación y el mantenimiento de los buses eléctricos.
- Maximización:** Se maximiza el uso de los buses eléctricos y se evalúa el impacto del proyecto.

Nuestras redes sociales de WRI



wri.colombia



@WRIColombia





Gracias

- Daniel Cano Daniel.cano@wri.org
- Rafael Muñoz Rafael.munoz@wri.org
- Alejandra Achury Mariaalejandra.achury@wri.org
- Sandra Meneses Sandra.meneses@wri.org