



**CM-DEMA-2023-091**

**Producto 3. ESTUDIO SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS DE CARGA PARA MOVILIDAD ELÉCTRICA.**

SERVICIOS DE APOYO A LOS PODERES PÚBLICOS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA EN LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO SOBRE EL ESTABLECIMIENTO DE ALTERNATIVAS DE CARGA PARA MOVILIDAD ELÉCTRICA, EN EL MARCO DEL PROYECTO “PARTICIPACIÓN DE LA REPÚBLICA DOMINICANA EN EUROCLIMA”

**29 de enero de 2023**

Dr. Angel López

Ing. Joan Artigas

ELECTRA MOBILITY SERVICES, S.L.



Financiado por  
la Unión Europea



**FIIAPP**  
COOPERACIÓN ESPAÑOLA



PRESENCIA DE LA  
REPÚBLICA DOMINICANA  
**Consejo Nacional  
para el Cambio Climático**



**INTRANT**  
INSTITUTO NACIONAL DE TRÁNSITO  
Y TRANSPORTE TERRESTRE

---

Este informe se ha elaborado para el [Programa EUROCLIMA](#) de la Unión Europea, a solicitud de la Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas.

---

---

Reproducción autorizada siempre que se cite la fuente.

“La presente publicación ha sido elaborada con la asistencia de la Unión Europea. El contenido de ésta es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso se debe considerar que refleje la opinión de la Unión Europea”.

---



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN Y MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>4</b>
1.1. “Swap” de baterías.....	4
1.2. Carga diurna.....	8
<b>2. ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN “SWAP” DE BATERÍAS.....</b>	<b>13</b>
2.1. Identificación de desafíos técnicos y operativos.....	13
2.2. Implementación del sistema de “swap” de baterías.....	15
2.3. Impacto legal y político.....	17
2.4. Beneficios de la promoción de la modalidad de carga de “swap” de baterías	18
2.5. Operadores de flotas y proveedores de soluciones de movilidad eléctrica.....	19
<b>3. ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN CARGA DIURNA.....</b>	<b>22</b>
3.1. Identificación de desafíos técnicos y operativos.....	22
3.2. Implementación del sistema de carga diurna.....	24
3.3. Impacto legal y político.....	26
3.4. Beneficios de la promoción de la modalidad de carga diurna.....	27
3.5. Consideraciones adicionales de la tecnología de carga diurna mediante pantógrafo, manguera y del control de las baterías.....	27
<b>4. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>34</b>



## 1. INTRODUCCIÓN Y MARCO CONCEPTUAL

Este documento tiene como finalidad realizar un estudio de implantación de modelo de carga alternativo, concretamente la carga por “swap” de baterías y la carga diurna mediante pantógrafo o manguera. La solución deberá ser compatible con el servicio de transporte público de autobuses de República Dominicana. Para ello, primero se aportarán los aspectos más generales del “swap” de baterías y de la carga diurna y su compatibilidad con la situación actual de República Dominicana.

### 1.1. “Swap” de baterías

Como breve introducción, el sistema de intercambio de baterías, conocido como "battery swapping", representa una solución innovadora en la movilidad eléctrica, permitiendo que las baterías descargadas de los vehículos se reemplacen por cargadas en estaciones automatizadas en menos de cinco minutos. Esta tecnología requiere una inversión inicial considerable en infraestructura y equipos especializados, además de implicar costos operativos continuos para la formación y mantenimiento del personal. Desafortunadamente, al ser una tecnología con experiencia limitada para las magnitudes objeto de estudio, concretamente a nivel Europeo, no es posible indicar con exactitud el costo de la inversión inicial. Para ello se debería contactar con uno o varios proveedores y solicitar las ofertas pertinentes manteniendo siempre la privacidad y las condiciones que se acuerden. De todas maneras, el coste para una instalación mediana podría situarse alrededor de millones de dólares.

A pesar de estos costos iniciales y operativos, el modelo ofrece un rendimiento energético notable debido a la eliminación del tiempo de carga activo y la posibilidad de integración con energías renovables, como la fotovoltaica, donde los paneles solares contribuyen a una eficiencia general del proceso.

A largo plazo, sin embargo, el sistema enfrenta desafíos de fiabilidad y durabilidad, en parte debido a la degradación acelerada de las baterías por el uso intensivo y la manipulación frecuente en las estaciones de intercambio. Aunque esta tecnología todavía no está ampliamente adoptada en Europa, en Asia ha demostrado su capacidad para reducir los tiempos de inactividad de los vehículos y optimizar la utilización de las baterías. La gestión eficiente de las baterías intercambiables es fundamental para la sostenibilidad del sistema, promoviendo prácticas de reutilización y reciclaje que extienden la vida útil de las baterías y reducen la demanda de recursos para la producción de nuevas.

En términos de infraestructura y escalabilidad, la sostenibilidad del modelo "swap" se refuerza mediante la eliminación de la necesidad de infraestructura de recarga y la adaptabilidad al uso de energía renovable, lo que se alinea con las directrices que priorizan la inversión en almacenamiento de energía. Además, la posibilidad de cargar las baterías durante períodos de bajo costo eléctrico y su almacenamiento adecuado, junto con la capacidad de suministrar energía a áreas circundantes, hacen del "swap" una opción



atractiva. Recordar que la situación de República es la siguiente:

- a. En el ámbito de la generación:
  - Generación Aislada, no hay interconexiones, ni tan siquiera con Haití.
  - Generación Hidráulica y Reversibles desarrollada al 90%.
  - Generación Eólica únicamente diurna(?) por las condiciones geográficas.
  - Generación Solar potencialmente muy importante, poco desarrollada.
- b. En el ámbito de la demanda:
  - Puntas de consumo entre 7-11pm.
  - Aire acondicionado de noche, consumo alto cuando no hay generación.

Y que las condiciones de operación son usualmente:

- c. Los autobuses operan 18h/día, desde las 5am a las 11am aproximadamente, solo se dispone de 6h nocturnas para revisiones, limpieza y recarga, en su caso.

Por lo tanto, existe un alto consumo cuando no hay generación de energía, así que sería recomendable cargar las baterías cuando los autobuses están en servicio en un horario diurno alejado de las puntas de consumo de 7-11 pm.

A esto se suman ventajas adicionales como la rápida recarga y una vida útil de la batería más predecible debido a las condiciones de carga controladas.

Sin embargo, es crucial abordar las barreras del sistema, que incluyen la falta de estandarización entre las baterías de los vehículos eléctricos, la experiencia limitada con la tecnología, y el diseño de los paquetes de baterías que no siempre facilita el intercambio. Además, el modelo requiere un mayor número de baterías para mantener operativa la misma cantidad de vehículos y puede incurrir en costos más altos a lo largo de la vida del vehículo debido al arrendamiento de las baterías. A pesar de estos retos, el sistema de "battery swapping" se perfila como una opción prometedora para responder a las necesidades de una flota de autobuses eléctricos urbanos, combinando eficiencia y sostenibilidad.

A continuación, se presentan las siguientes relaciones con el estado actual de República Dominicana para el "swap" de baterías:

- Ahorro de espacio: El modelo de "swap" de baterías elimina la necesidad de espacio dedicado a infraestructura de recarga fija, lo que es especialmente beneficioso para terminales con espacio limitado o corredores cuyos vehículos duermen en módulos en la vía pública.
- Interacción con la CUED (Consejo Unificado de las Empresas Distribuidoras de Electricidad): Dado que la CUED prefiere instalaciones de almacenamiento en lugar de generación fotovoltaica propia, el "swap" de baterías es ideal, ya que permite cargar las baterías durante el día con energía renovable y utilizarlas para el servicio de autobuses, sin la necesidad de invertir en infraestructura fotovoltaica adicional.



- Velocidad de recarga y flexibilidad operativa: La capacidad de intercambiar baterías rápidamente hace que el "swap" sea una opción más adaptable a la volatilidad y flexibilidad del servicio de transporte público de República Dominicana, ofreciendo un proceso de recarga más veloz y eficiente en comparación con la carga lenta.



FIGURA 1 ESTACIÓN DE INTERCAMBIO PARA BATERÍAS DE SILENCE (BATTERY SWAP). FUENTE: MOVILIDAD ELECTRICA.COM

Por otro lado, es importante mencionar que los modelos de estación de "swap" de baterías pueden variar desde una sola estación hasta múltiples estaciones integradas con sistemas de carga convencionales. Para el transporte público, la elección del modelo depende de factores como la cobertura del servicio y la disponibilidad de recursos. La gestión de múltiples estaciones de "swap" de baterías implica desafíos como la optimización de la ubicación, el apoyo a viajes de larga distancia y la coordinación entre las diferentes estaciones. Estos aspectos son críticos para un servicio de transporte público extenso y eficiente.

#### **Estación de "swap" de baterías Individual para autobuses:**

El funcionamiento básico de una estación de "swap" de baterías individual, aplicado al servicio de autobuses, puede seguir un flujo de trabajo similar al de los vehículos eléctricos (VE) privados, pero con adaptaciones específicas. Cuando un autobús eléctrico requiere un cambio de batería, el conductor o el sistema de gestión de flota envía una solicitud a la estación de "swap" de baterías. Si la solicitud es aceptada, el autobús se dirige a la estación para el intercambio de batería. En la estación de "swap" de baterías, la batería descargada se reemplaza por una cargada, y luego se recarga para futuros intercambios.

En caso de que no se pudiera establecer un horario fijo y viable para el intercambio de las baterías, sería vital en el contexto de autobuses que las estaciones de "swap" de baterías reciban solicitudes anticipadas para optimizar el proceso de intercambio. La información puede incluir la hora de llegada estimada del autobús, el estado de carga (SOC) actual y el tipo de batería. Estas solicitudes permiten a la estación de "swap" de baterías planificar mejor la carga y el intercambio de baterías, esencial para mantener un servicio de transporte público eficiente.



La gestión de carga en las estaciones de “swap” de baterías para autobuses requiere considerar la demanda de cambio, las restricciones de potencia de la red y los costos operativos, incluyendo la compra de baterías y electricidad. El número de baterías en stock es crucial, y debido al tamaño y uso intensivo de los autobuses, este número puede ser significativamente mayor que en las estaciones de “swap” de baterías destinadas a VE privados.

### Múltiples estaciones de “swap” de baterías para autobuses:

En un sistema con múltiples estaciones de “swap” de baterías para autobuses, sería recomendable trabajar con un centro de control que coordinara las demandas de cambio de los autobuses y asignara estaciones de cambio adecuadas. Los autobuses podrían solicitar cambios de batería de diferentes maneras, siempre indicando su estado y la cercanía a las diferentes estaciones. El centro de control también debería gestionar la disponibilidad y el estado de las baterías en tiempo real en todas las estaciones de “swap” de baterías. Sin embargo, esta estrategia conlleva una considerable complejidad en la gestión. Los autobuses no seguirían rutas predeterminadas, sino que dependerían de las directrices del centro de control, lo que podría aumentar la flexibilidad, pero también la complejidad operativa. Por lo tanto, si se desea evitar la complejidad y los costes asociados a este modelo altamente optimizado, una alternativa viable sería permitir que las estaciones de “swap” de baterías operen de manera más autónoma. En este enfoque, los autobuses seguirían rutas y horarios de carga más fijos y preestablecidos, reduciendo así la carga operativa y simplificando la gestión del sistema, aunque potencialmente a expensas de una optimización más refinada del servicio.

La ubicación de las múltiples estaciones de “swap” de baterías debe optimizarse según la demanda de intercambio, las zonas con mayor uso de transporte público y los límites del sistema energético. Es importante que algunas estaciones de “swap” de baterías se ubiquen estratégicamente en los patios o módulos con suficiente espacio para que se puedan utilizar por una mayor cantidad de autobuses.

Por lo tanto, entre los desafíos clave se encuentran la planificación de la ubicación de las estaciones de “swap” de baterías, el enrutamiento eficiente de los autobuses hacia estas estaciones y la programación del proceso de carga. La incertidumbre en los patrones de tráfico y los tiempos de viaje también debe considerarse en la toma de decisiones.

En resumen, los enfoques de estaciones de cambio de baterías (estación de “swap” de baterías) individuales y múltiples para autobuses presentan desafíos distintivos, cada uno demandando soluciones especializadas. Además, en el contexto de la evolución constante de la movilidad eléctrica, existe un potencial significativo para integrar las estaciones de “swap” de baterías con sistemas de carga convencionales. Esta integración podría dar lugar a un sistema de control unificado, capaz de comprender y administrar las particularidades de cada sistema. Tal sistema no solo gestionaría eficazmente el servicio, sino que también maximizaría la eficiencia operativa y la sostenibilidad del transporte público eléctrico, adaptándose de manera óptima a las necesidades cambiantes de la movilidad urbana.



## Programación de carga para autobuses para estación de “swap” de baterías individuales o múltiples:

La programación de la carga en estaciones de cambio de baterías para autobuses implica considerar tanto el estado de las baterías como la demanda de cambio y carga específica de los autobuses. Es crucial para los operadores de las estaciones de “swap” de baterías establecer un horario de carga optimizado que no solo maximice el beneficio operativo y minimice los costos de electricidad, sino que también garantice la máxima disponibilidad de autobuses operativos para el servicio público. Un horario de carga bien planificado permite a la estación de “swap” de baterías manejar eficientemente las solicitudes de cambio, mejorando así la calidad y capacidad del servicio.

En el contexto de los autobuses, la programación de carga debe considerar variables como la demanda fluctuante de autobuses, los horarios de operación del transporte público y la tarificación dinámica de la electricidad. La estación de “swap” de baterías debe determinar un horario específico para la carga de las baterías, teniendo en cuenta aspectos como el inicio de la carga, el tiempo objetivo, la tasa máxima de carga, y el estado de carga (SOC) deseado.

La decisión de aceptar o rechazar solicitudes de cambio o carga de los autobuses depende de la carga de trabajo actual en la estación de “swap” de baterías. Esto requiere una evaluación constante de la disponibilidad de baterías cargadas y la capacidad de la estación de “swap” de baterías para manejar demandas adicionales.

La adopción de fuentes de energía renovable, como sistemas fotovoltaicos (PV), es una estrategia prometedora para las estaciones de “swap” de baterías de autobuses. El uso de energía solar para recargar baterías puede reducir significativamente los costos operativos y el impacto ambiental. Sin embargo, esto presenta desafíos como la variabilidad de la energía solar y la necesidad de predecir la demanda de intercambio de los autobuses. Un aspecto importante en las estaciones de “swap” de baterías con sistemas PV es cuantificar y optimizar el autoconsumo de energía solar. Por ejemplo, en el contexto de autobuses eléctricos, una gestión eficiente de la energía PV puede mejorar el autoconsumo, asegurando así que la mayor parte de la energía generada se utilice para la carga de baterías. Dado que en República Dominicana ya se dispone de un gran porcentaje de energía renovable en horario diurno que permitiera cargar las baterías, este factor podría no ser tan importante.

### 1.2. Carga diurna

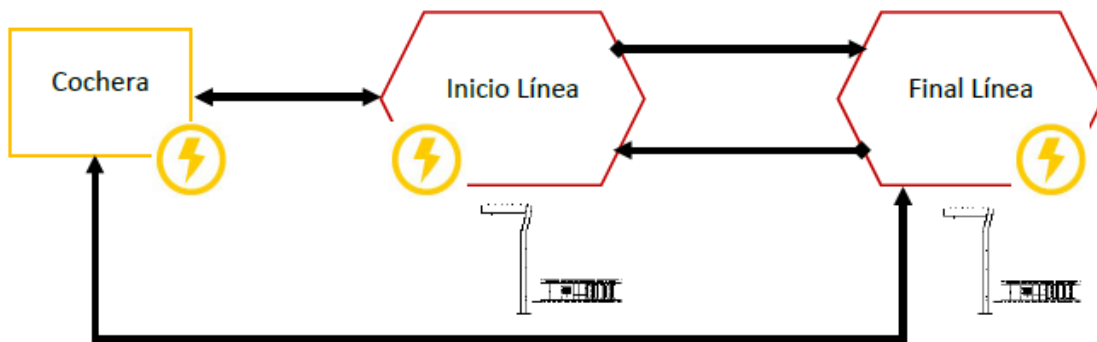
La carga diurna en el contexto de la movilidad eléctrica urbana representa un enfoque confiable para mantener operativos los vehículos eléctricos, especialmente autobuses urbanos, a lo largo de la jornada sin interrupciones significativas en su servicio. A diferencia del intercambio de baterías, este método usualmente se centra en la implementación de sistemas de carga rápida, con potencias elevadas, entre los 300 kW y 600 kW, diseñados para recargar las baterías de los vehículos rápidamente durante las paradas programadas en sus



rutas, así como en los patios o terminales de autobuses. Sin embargo, dado los tiempos de parada o regulación existentes en el servicio de República Dominicana o, en caso de poder ajustar los horarios actuales, sería posible una carga diurna con potencias más reducidas, similar a una carga “Overnight” en las horas de descanso de los vehículos.

Los sistemas de carga de carga de “Oportunidad”, se instalan en puntos estratégicos a lo largo de las rutas de los autobuses o en sus terminales, aprovechando los tiempos de parada naturales (tiempos de regulación) para realizar cargas que pueden reponer hasta el 85% de la capacidad de la batería en un intervalo de tan solo 3 a 5 minutos. Esta estrategia no solo optimiza el tiempo de inactividad de los vehículos, sino que también se adapta perfectamente a las necesidades operativas de las flotas de transporte público, permitiendo una planificación eficiente y flexible de las rutas y horarios. Por otro lado, como ya se ha mencionado, el servicio de República Dominicana, presenta unos tiempos de parada y de regulación mayores que no requieren de realizar una carga de alta potencia en un intervalo de tiempo tan limitado. Por lo tanto, la modalidad de carga diurna se podría ajustar más a una carga más lenta, tras un servicio y en horario diurno, o en tiempos de regulación lo suficientemente largos.

Esta modalidad de carga, permite considerar diferentes estándares como carga mediante manguera o pantógrafo. Entre ellos, la adaptación de los autobuses eléctricos para permitir la carga rápida mediante sistemas de pantógrafo up/down facilita una integración armónica con la infraestructura existente, sin requerir modificaciones significativas en los vehículos. Esta tecnología de carga ahorra espacio físico en las instalaciones de carga y reduce el tiempo que los conductores necesitan dedicar al proceso de carga, gracias a su automatización y eficiencia.



**FIGURA 2. CARGA LENTA DIURNA “OPORTUNIDAD”.**

Además, la carga diurna, al igual que la modalidad de “swap” de baterías, mantiene también la ventaja de contar con la posibilidad de integrarse con sistemas de generación de energía renovable, como la fotovoltaica, maximizando el uso de energías limpias y minimizando las emisiones de carbono asociadas al transporte público:

- Ya sea en caso de un reajuste de los horarios para una carga diurna en tiempos de



descanso de los vehículos o en caso de una carga de “Oportunidad” diurna, sería posible contar una conexión directa con la red de distribución de República Dominicana, con una elevada disponibilidad energética renovable durante el día:

d. En el ámbito de la generación:

- Generación Hidráulica y Reversibles desarrollada al 90%.
- Generación Eólica únicamente diurna(?) por las condiciones geográficas.
- Generación Solar potencialmente muy importante, poco desarrollada.

En cuanto al porcentaje exacto de disponibilidad energética, no se dispone de un valor exacto. Por lo tanto, se debería consultar con El Consejo Unificado de las Empresas Distribuidoras de Electricidad (CUED) para un mayor detalle.

- Por otro lado, existiría también la posibilidad de prescindir de una dependencia total de la red de distribución, siendo factible la autogeneración de energía renovable mediante plantas de generación (PFV, ...) para la recarga de los vehículos. Al ser una modalidad de carga diurna, en algunos casos sería suficiente con la autogeneración, sin embargo, sería recomendable un sistema de almacenamiento y una conexión con la red como planes de contingencia.

La energía solar generada durante el día puede almacenarse en baterías para su uso continuo, incluso en condiciones de baja irradiación solar, asegurando una operación sostenible y eficiente de la flota de autobuses eléctricos. Los beneficios en este caso serían la eficiencia energética del proceso de carga, con cargadores que pueden alcanzar eficiencias superiores al 90%, y la reducción de la dependencia de la red eléctrica convencional.

Cabe destacar que la carga diurna con cargadores de alta potencia enfrenta el desafío de requerir una inversión inicial considerable en infraestructura y equipamiento especializado. Sin embargo, a largo plazo, esta inversión se ve compensada por la reducción de costos operativos y de mantenimiento, así como por la mayor eficiencia y sostenibilidad del sistema. La implementación de esta tecnología también implica consideraciones sobre la capacidad y durabilidad de las baterías de los autobuses, las cuales deben estar diseñadas para soportar ciclos de carga rápida repetidos a lo largo de su vida útil sin degradarse prematuramente. Para esta modalidad de recarga, en algunos casos es razonable considerar la necesidad de realizar un recambio de las baterías de los autobuses hacia la mitad de su vida útil total.

Otro desafío a considerar que comparten la mayoría de las modalidades de carga, incluye la necesidad de estandarizar los sistemas de carga y adaptar los diseños de los autobuses para facilitar la carga rápida, en caso de que se trate de una carga a manguera, los autobuses deberán tener el conector en la zona más adecuada en función de su estacionamiento frente al equipo de recarga, lo mismo para la carga con pantógrafo. En el caso de la comunicación, a pesar de que se utilizan mayoritariamente protocolos ampliamente aceptados, será necesario definirlo previamente para evitar futuras complicaciones. Por lo tanto, es crucial



tener en cuenta la interoperabilidad entre diferentes marcas y modelos de autobuses y cargadores. A esto se suma la necesidad de una planificación detallada para la instalación de la infraestructura de carga en ubicaciones estratégicas que minimicen las interrupciones en el servicio y maximicen la eficiencia operativa.

Adentrándonos más en el contexto de la carga diurna para autobuses eléctricos, es importante destacar que la implementación de tecnologías de carga diurna también implicaría un cambio en la planificación y quizá diseño de los corredores de autobuses de República Dominicana. La ubicación de los cargadores de oportunidad debe considerarse cuidadosamente para optimizar las rutas y minimizar el impacto en los tiempos de viaje. Esto requiere una colaboración estrecha entre los operadores de transporte, los planificadores urbanos y los proveedores de tecnología, para asegurar que la infraestructura de carga se integre de manera eficiente en el tejido urbano sin alterar significativamente el paisaje de la ciudad o causar inconvenientes a los ciudadanos.

A continuación, se presentan las siguientes relaciones con el estado actual de República Dominicana para la carga diurna:

- Reorganización de espacio: La recarga rápida en horario diurno también requiere, en general, una obra civil – eléctrica más compleja, ya que requieren una cantidad de espacio en los módulos o patios para ser instalados, lo cual trae otros inconvenientes asociados a permisos, seguridad y aceptación de la sociedad.
- A diferencia de la modalidad de “Swap” de baterías, una carga de “Oportunidad” no implica una necesidad imperiosa de la reordenación de los corredores de autobuses que actualmente terminan en módulos o patios sin el espacio necesario para la infraestructura de recarga. Esto se debe a que habría la posibilidad de utilizar un mismo equipo de recarga para varios autobuses eléctricos. Sin embargo, en caso de que no se considerase esta modalidad y se estudiara una carga diurna, pero con similitudes a la carga nocturna, es decir una carga más lenta tras la finalización del servicio, con un mayor número de equipos y un sistema de autogeneración y almacenamiento, sí sería recomendable la reordenación para implementar la infraestructura de carga en zonas espaciosas y concentrar los autobuses. En ese caso, sería aconsejable también centralizar las instalaciones de recarga para manejar eficientemente las flotas y reducir la dispersión de puntos de recarga, favoreciendo la agrupación de un mayor número de autobuses por módulo/patio.
- Contratos de energía y volatilidad de la demanda: Si se tratara de una carga nocturna o diurna, pero dependiente de la autogeneración, la carga rápida podría verse afectada por la variabilidad de la generación fotovoltaica debido al clima u otros factores. Sin embargo, dado que se pretende realizar una carga diurna, cuando la red de distribución eléctrica de República Dominicana dispone de una mayor disponibilidad energética, mayoritariamente renovable, no sería una cuestión crucial. De todas maneras, en caso de que se optara por autogeneración y almacenamiento sería esencial que las operadoras se registren como generadores y almacenadores de energía renovable, con contratos que les permitan manejar la volatilidad en la generación y proporcionar almacenamiento de energía a la red de



CUED (Consejo Unificado de las Empresas Distribuidoras de Electricidad).

- Flexibilidad del servicio de transporte público: Se deberá tener en cuenta la planificación operativa teniendo en cuenta la modalidad de carga finalmente propuesta. En caso de una carga puntual de “Oportunidad” se deberá considerar la capacidad de carga durante media hora o una hora que puede conllevar la recarga efectiva del autobús. Durante ese tiempo el servicio debería mantenerse igual, por lo que se deberán aprovechar los tiempos de paradas o regulación, o considerar la incorporación de nuevos autobuses en el servicio en sustitución al autobús en carga. Para una modalidad de carga más lenta, pero en horario diurno, se requeriría un ajuste de los horarios, dado que el servicio actual en República Dominicana se realiza durante todo el día. En este caso, se deberá establecer un horario de carga diurno, deteniendo el servicio actual o incorporando nuevos autobuses que puedan cumplir el servicio mientras otros realizan la carga.



## 2. ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN “SWAP” DE BATERÍAS

Para poder conocer con mayor claridad cuáles son los aspectos más relevantes a tener en cuenta para la implementación de esta tecnología de “swap” de baterías para la recarga del transporte público de autobuses de República Dominicana, a continuación, se listan y se detallan cada uno de ellos.

### 2.1. Identificación de desafíos técnicos y operativos

Un desafío técnico clave del “swap” de baterías que se ha demostrado a lo largo de los últimos años es la necesidad de estandarizar las baterías para facilitar su intercambio entre diferentes marcas y modelos de vehículos eléctricos (VE). Si bien la estandarización permite una mayor interoperabilidad, puede limitar la innovación en el diseño y la capacidad de las baterías. Sin embargo, en el caso de estudio de una flota de autobuses, este problema, que requiere especial atención en un servicio público, puede no ser tan crítico, ya que es posible estandarizar fácilmente el tipo de autobús a utilizar. A menos que las mismas baterías sean utilizadas por diferentes operadores de servicios de autobuses con diferentes modelos de autobuses eléctricos. Si ese fuera el caso, se debería tener en cuenta también que las baterías deben ser diseñadas para integrarse fácilmente con una variedad de modelos de vehículos. Esto requiere una consideración cuidadosa del diseño y la forma de las baterías para garantizar su compatibilidad con diferentes vehículos.

Por otro lado, es fundamental garantizar la seguridad y fiabilidad de las baterías intercambiadas. Esto incluye el mantenimiento adecuado, la verificación regular del estado de las baterías y el aseguramiento de que no se utilicen baterías subestándares o dañadas. Por lo tanto, la implementación de esta modalidad deberá venir acompañada de una formación correcta a todos los involucrados.

La creación de una red de estaciones de intercambio de baterías representa un importante desafío operativo. Estas estaciones deben estar estratégicamente ubicadas y contar con la tecnología necesaria para llevar a cabo intercambios rápidos y eficientes. En el caso de este estudio, la infraestructura de recarga estará exclusivamente destinada a los autobuses eléctricos, lo que significa que la ubicación de las estaciones estará centrada en los módulos y patios principales, asegurando que haya suficiente espacio para su instalación. Sin embargo, se recomienda encarecidamente llevar a cabo un estudio previo exhaustivo para definir un modelo de operación, una gestión de carga y una gestión de energía efectivos. Esto requerirá un conocimiento detallado del servicio actual, la estimación precisa de los tiempos de carga y cambio de baterías disponibles, la compatibilidad con la red eléctrica y la planta de generación fotovoltaica, así como la consideración de cualquier factor que pueda afectar a los tiempos estimados de servicio. Esta gestión supondrá desarrollar un sistema de operación adecuado para gestionar el inventario de baterías, el seguimiento de la condición de las baterías y la logística de intercambio.

A continuación, se presenta un breve resumen de algunos de los aspectos técnicos y operativos clave a tener en cuenta:



#### Crecimiento de la flota de vehículos eléctricos (EVs):

- Dado que el sector del transporte público de autobuses es un sector en continuo crecimiento, es recomendable dimensionar las instalaciones acorde a ello.

#### Desafíos de recarga de vehículos eléctrico (EVs) con “swap” de baterías:

- Asegurar la reducción de los tiempos de carga prolongados en comparación con la recarga con punto de recarga de conexión con manguera más usual. Minimizar el tiempo de inactividad del vehículo durante el intercambio de baterías es crucial para la eficiencia operativa. Esto incluye el diseño de sistemas de intercambio rápido y la ubicación estratégica de las estaciones de intercambio. Aunque pueda considerarse un desafío, resulta una de las principales ventajas respecto un sistema de carga con manguera convencional.
- Mantener las capacidades de las baterías del vehículo eléctrico para que sigan cumpliendo con la suficiente capacidad para dar el servicio completo.
- Seguridad y fiabilidad de las baterías.
- Estandarización de baterías en caso que usen diferentes modelos de autobuses eléctricos.
- Profundizar en la logística y manejo de baterías: Las operaciones de intercambio de baterías implican desafíos logísticos significativos, incluyendo el transporte, almacenamiento y manejo de baterías. Esto es especialmente crítico en el caso de baterías pesadas para vehículos más grandes como las de los autobuses objeto de estudio.
- Mantener la capacidad para cargar múltiples baterías simultáneamente y cumplir los tiempos disponibles. Esto requiere una infraestructura de carga robusta y eficiente, así como una gestión eficaz del suministro eléctrico en caso de que la planta de generación no sea suficiente.
- Capacitación del personal de las estaciones de intercambio de baterías. Este debe estar adecuadamente capacitado para manejar las baterías y operar el equipo de intercambio. Además, el mantenimiento regular de las estaciones y el equipo es vital para garantizar un funcionamiento sin problemas.
- Necesidad de un enfoque en sistema de operación y métodos de optimización. El sistema de “swap” de baterías, como una solución alternativa a las estaciones de carga convencionales, requerirá también de la necesidad de reorganizar el servicio actual de autobuses y adaptarlo a las posibilidades de esta modalidad de recarga. En ese sentido será necesario conocer las ubicaciones óptimas para su instalación, los tiempos de “swap” de baterías, así como de recarga de las baterías a través de la red o la planta de generación; los elementos que puedan reducir estos tiempos, entre otros.
- Optimizar los modos de operación. En base al caso de estudio, se dispondrán de diferentes estaciones de “swap” de baterías. En ese sentido, será recomendable trabajar en modos de operación que permitan optimizar al máximo el sistema en conjunto, con un sistema de gestión que les permita a los autobuses conocer en todo



momento la ubicación en la que deben realizar la “recarga” y los tiempos que disponen para ello.

- Compatibilidad del sistema con otras modalidades de recarga más convencionales, si es el caso.

Escenarios de decisión en un sistema de “swap” de baterías:

- Estrategias para cargar baterías de manera eficiente.
- Estrategias para mejorar la eficiencia operativa.
- Decidir sobre ubicaciones óptimas.
- Optimización del desplazamiento de los autobuses eléctricos a los sistemas de “swap” de baterías.
- Estrategias para gestionar la demanda y suministro de energía eficientemente.

Cabe destacar que la disposición y el reciclaje de baterías usadas o dañadas son desafíos operativos y medioambientales que deberán alinearse con las políticas y normativas de República Dominicana.

## 2.2. Implementación del sistema de “swap” de baterías

A continuación, se pretende esquematizar el proceso de implantación para la infraestructura de “swap” de baterías, sabiendo que principalmente ésta deberá ir acorde a la situación actual del servicio de transporte público de autobuses en República Dominicana.

Cabe destacar que es crucial definir previamente el modelo más adecuado para el sistema de intercambio de “swap” de baterías, adaptándolo a la situación actual. Una opción podría ser implementar un sistema con múltiples puntos de “swap”, operando en un mismo sistema general según la disponibilidad de baterías cargadas. Alternativamente, se podrían establecer puntos individuales sin relación con el resto que aseguren siempre la disponibilidad de baterías completamente cargadas, facilitando así el intercambio de baterías en los tiempos disponibles de los autobuses.



#### Evaluación del estado actual de los corredores de autobuses:

En el contexto de un servicio público, la tarea de evaluar la densidad de vehículos eléctricos, los patrones de tráfico y las áreas clave de demanda energética es fundamental. Sin embargo, para el caso de estudio en cuestión, se centra en identificar aquellos patios o módulos que representen un punto óptimo e ideal para la recarga de autobuses eléctricos en diferentes corredores. Esto implica considerar los tiempos disponibles para la recarga y buscar compatibilidades con otros puntos alrededor para desarrollar planes de contingencia efectivos en situaciones donde la recarga no sea posible.



#### Planificación y diseño del sistema de "swap" de baterías:

Tras una reorganización de los corredores y un estudio de trayectos o similar, será necesario determinar la demanda energética o de baterías de la flota actual de autobuses. Esto ayudará a conocer cuál debe ser la capacidad de almacenamiento necesaria en cada ubicación, el tipo de estaciones de recarga y otros aspectos fundamentales para el óptimo funcionamiento del sistema. Finalmente, será posible conocer la superficie útil necesaria para la instalación del sistema con la que terminar de seleccionar la ubicación más óptima.



#### Estrategia Operativa:

Este apartado aborda la creación de un sistema de explotación y gestión para esta modalidad de recarga. Se determinará cómo informar a los autobuses sobre su ubicación de recarga. Se establecerán horarios para recargar las baterías a través de la red eléctrica o la planta generadora, buscando optimizar al máximo los tiempos disponibles. También se definirá el orden de uso de las baterías recargadas, entre otros aspectos cruciales. Adicionalmente, se implementarán mecanismos para la gestión de datos y de incidencias, políticas de servicio, y se definirán los roles de los distintos participantes involucrados en el proceso.



#### Gestión de Energía:

Es necesario abordar la compatibilidad con sistemas de generación de energía, como las plantas fotovoltaicas, en caso de que aplique. Se plantearán estrategias para maximizar el uso de la generación propia y alinearlas con los requisitos de la red de distribución, como se menciona en la introducción de este documento sobre los convenios con la red. Se considerará la posibilidad de realizar cargas de "swap" puntuales durante el día y la recarga de baterías a través de la red de distribución, aprovechando su alta disponibilidad de energía renovable durante el horario diurno, como elementos clave.



#### Tecnología y Equipamiento:

Será crucial seleccionar la tecnología de baterías y sistemas de gestión más adecuados para los autobuses eléctricos actuales y su servicio. Esto requiere un conocimiento detallado de las características del servicio y de los autobuses, con el fin de estandarizar las baterías de recarga para asegurar un servicio diario completo. Además, se necesita inversión en hardware y software para lograr operaciones eficientes, que faciliten el seguimiento y diagnóstico para una mejora continua. Dado el estado incipiente de esta tecnología, se aconseja consultar con diversos proveedores para evaluar sus opiniones y productos.



#### Cumplimiento y Normativas:

Dada la naturaleza incipiente de esta tecnología, resulta esencial desarrollar una regulación específica para esta modalidad de carga que sirva como guía para los operadores de servicios de transporte público en autobús. Dicha regulación debe ajustarse a las normativas locales y a los estándares de seguridad. Asimismo, es recomendable tener en cuenta consideraciones ambientales y de sostenibilidad, especialmente en lo que respecta a la gestión de residuos de las baterías.



## 2.3. Impacto legal y político

La implementación de estaciones de “swap” de baterías para vehículos eléctricos también implica consideraciones legales y normativas significativas. Generalmente incluyen los siguientes aspectos:

### **Normativas de seguridad y estándares técnicos:**

Cumplimiento con estándares de seguridad para la instalación y operación.

Normativas relacionadas con el manejo y almacenamiento de baterías de litio, dado su riesgo de incendio o explosión.

Si es el caso, estándares técnicos para asegurar la compatibilidad entre diferentes marcas y modelos de vehículos eléctricos y sistema de “swap” de baterías.

### **Permisos y licencias:**

Obtención de permisos de construcción y operación por parte de las autoridades.

Licencias específicas para la manipulación y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos.

### **Regulaciones ambientales:**

Cumplimiento con leyes ambientales, especialmente en lo que respecta al reciclaje y disposición de baterías usadas.

Evaluación de impacto ambiental para nuevas construcciones o modificaciones significativas en áreas urbanas o sensibles.

### **Cuestiones de propiedad y responsabilidad:**

Definición legal de la propiedad de las baterías (si pertenecen al titular del vehículo eléctrico o a la empresa operadora del sistema de “swap” de baterías).

Responsabilidades en caso de fallas o daños durante el proceso de cambio de baterías.

### **Normativas de integración a la red eléctrica:**

Regulaciones sobre la conexión de sistemas de “swap” de baterías a la red eléctrica, especialmente si incluyen generación de energía renovable.

Normativas para la implementación de tecnologías de vehículo a red (V2G), si aplican.

### **Cumplimiento con normas internacionales:**

Adherencia a estándares internacionales, especialmente si se da un comercio transfronterizo de vehículos eléctricos.

Consideración de directrices de organismos internacionales.

Sería recomendable, establecer o ajustar regulaciones estrictas y mecanismos de control de calidad, colaborando con el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT).

Los operadores de flotas se enfrentarían a desafíos en la optimización de la ubicación de las estaciones de carga y en la obtención de los permisos y licencias de carga requeridos, que deberán plantearse adecuadamente para regular la nueva modalidad de recarga de vehículos. En todo caso, sería previsible el interés por su parte en las estaciones de intercambio de baterías para aumentar el tiempo de disponibilidad de los vehículos.



Otro aspecto a destacar, sería que las diferencias en las políticas de los estados y las iniciativas gubernamentales pueden afectar la implementación y la eficacia de las infraestructuras de intercambio de baterías. Por lo tanto, en un caso como el objeto de estudio donde la modalidad de la recarga por “swap” de baterías todavía no se ha implementado ni regulado, la comparación de políticas estatales de otros países puede ofrecer perspectivas valiosas para la formulación de las políticas y regulaciones. Por lo tanto, es importante que las políticas gubernamentales integren el intercambio de baterías en sus estrategias generales de movilidad eléctrica. Esto incluye la consideración de tecnologías de intercambio en la planificación urbana y en las políticas de transporte.

Como último aspecto a comentar en esta sección, la adopción de modelos de negocio como la propiedad compartida de baterías, la suscripción y el alquiler puede ser crucial para superar los desafíos financieros y operativos.

## 2.4. Impacto ambiental

El intercambio de baterías (swap) permite una recarga rápida de vehículos eléctricos mediante el reemplazo de baterías agotadas por otras previamente cargadas. Esta modalidad puede optimizar el uso de energía renovable al permitir la carga de las baterías en horas donde la generación de este tipo de energía renovable es más alta, aunque esto no siempre coincida con la demanda inmediata de carga del vehículo. Además, facilita el manejo de la demanda eléctrica al distribuir la carga a lo largo del día, lo que puede contribuir a una reducción en la necesidad de energía proveniente de fuentes fósiles durante picos de demanda. Sin embargo, el impacto ambiental también incluye la manufactura, mantenimiento y reciclaje de un mayor número de baterías, así como la infraestructura adicional requerida para los centros de intercambio. Por lo tanto, resultan clave en este caso la eficiencia en el reciclaje y la reducción del impacto ambiental de la producción de baterías.

En el caso del intercambio de baterías, un aspecto técnico crucial es la estandarización de las baterías y los sistemas de intercambio. Actualmente, la falta de un estándar universal en el diseño y especificaciones de baterías representa una barrera para la adopción masiva de esta tecnología y evita que se puedan optimizar los procesos de producción y reciclaje al máximo.

## 2.5. Beneficios de la promoción de la modalidad de carga de “swap” de baterías

La promoción de la tecnología de intercambio de baterías para autobuses puede ser útil para aumentar la adopción de vehículos eléctricos (VE) en servicios de transporte público. Facilitar un intercambio rápido de baterías podría hacer que los vehículos eléctricos sean más atractivos para los operadores de transporte público, aliviando preocupaciones sobre el tiempo de carga y la autonomía. Resulta fundamental implementar medidas de apoyo, como subvenciones y beneficios fiscales, enfocadas en la infraestructura de intercambio de baterías y la adquisición de VE para flotas de autobuses. El aprovechamiento de fondos iberoamericanos u otros programas similares sería estratégico en este sentido. Estos



incentivos, complementados con ayudas estatales para la construcción y operación de estaciones de intercambio, son vitales para establecer una red sólida de estaciones de “swap” de baterías.

Además, es esencial fomentar colaboraciones entre los sectores público y privado, así como apoyar la investigación y desarrollo en tecnologías de baterías, para acelerar esta transición. Campañas educativas y de concienciación también juegan un papel importante en incrementar la aceptación y comprensión de estas tecnologías entre los operadores de transporte público y la sociedad en general.

Cabe destacar la importancia de adaptar políticas y subvenciones a las condiciones específicas de cada región y al panorama de los operadores de transporte público.

## 2.6. Operadores de flotas y proveedores de soluciones de movilidad eléctrica

Este apartado se centra en el papel que podrían llegar a tener los operadores de flotas y estaciones de carga, así como los proveedores de soluciones de movilidad eléctrica en el ecosistema de vehículos eléctricos (VE) y en la implementación de la tecnología de “swap” de baterías:

- Los operadores de flotas desempeñan un papel crucial en la fase inicial de crecimiento del mercado de vehículos eléctricos, especialmente en el contexto de República Dominicana, donde la normativa actual está orientada a la “transformación” de los corredores de transporte. En este escenario, la transición de los vehículos a modelos eléctricos podría facilitarse significativamente. Sin embargo, es importante reconocer que la decisión de los operadores de flota de adoptar vehículos eléctricos suele estar motivada por el menor costo total de propiedad (CTO). Un factor determinante en este sentido es la eficiencia en la gestión de la carga, particularmente en ubicaciones centralizadas. En este marco, la tecnología de “swap” de baterías emerge como una solución viable, ya que no solo ofrece una forma eficiente de recargar los vehículos, sino que también permite manejar los costos de los autobuses de manera independiente al costo de las baterías.

Es por este motivo que puede existir un interés creciente por parte de los operadores de flotas hacia las estaciones de intercambio de baterías, ya que estas pueden aumentar significativamente el tiempo de disponibilidad de los vehículos. El intercambio rápido de baterías reduce los tiempos de inactividad en comparación con la carga tradicional.

- Los operadores de flotas enfrentan desafíos significativos al instalar infraestructura de carga, como la optimización de la ubicación y la obtención de los permisos o licencias de carga necesarias de los proveedores de servicios de energía. Estos desafíos pueden resultar en tiempos de espera prolongados para la instalación y puesta en marcha de las estaciones de carga:



- Selección estratégica de ubicación: La ubicación de las estaciones de intercambio de baterías debe ser estratégica para ser accesible para la mayor cantidad posible de vehículos eléctricos.
- Disponibilidad de espacio: Encontrar ubicaciones que ofrezcan el espacio suficiente para instalar la infraestructura necesaria (patios o módulos con capacidad suficiente para el almacenamiento de baterías y equipos de intercambio)
- Aprobaciones y permisos: Conseguir las aprobaciones necesarias de los proveedores de servicios de energía y las autoridades locales puede ser un proceso largo y complejo, que incluye cumplir con normativas específicas y estándares de seguridad. Este desafío se ve acentuado por el hecho de que, en muchas áreas, la legislación actual podría no contemplar específicamente los sistemas de intercambio de baterías para vehículos eléctricos.
- Esto significa que los operadores de sistemas “swap” de baterías a menudo deben navegar en un entorno regulatorio incierto, donde las reglas y requisitos pueden no estar claramente definidos o pueden estar en proceso de desarrollo.
- Integración con la red eléctrica: Coordinar la conexión de las estaciones de intercambio de baterías con la red eléctrica local, lo cual puede requerir mejoras en la infraestructura existente o nuevas instalaciones acorde a los requisitos que se impongan para poder disponer de un convenio.
- Costos y financiación: Asegurar la financiación necesaria para cubrir los costos de instalación y operación, lo que puede incluir la búsqueda de inversiones o subvenciones.
- Retrasos en la construcción: Los proyectos de infraestructura pueden enfrentarse a retrasos debido a factores como la obtención de permisos, condiciones climáticas adversas, o desafíos logísticos.
- Pruebas y puesta en marcha: Antes de que las estaciones estén operativas, deben someterse a una serie de pruebas para asegurar su funcionamiento adecuado y seguro, lo que puede añadir tiempo adicional al proceso de instalación.

Es fundamental para ello buscar asesoramiento experto en áreas como planificación urbana, ingeniería eléctrica y gestión de proyectos.

- Los proveedores de soluciones de intercambio de baterías juegan un papel esencial en el desarrollo de infraestructuras de intercambio eficientes y accesibles. Ofrecen tecnologías y servicios que abordan los desafíos logísticos y técnicos asociados con el intercambio de baterías.
- Varios proveedores están explorando modelos de negocio innovadores, como la propiedad compartida de baterías, suscripciones y alquileres. Estos modelos pueden ser especialmente atractivos para operadores de flotas y usuarios comerciales de vehículos eléctricos. Por ejemplo, en el contexto del transporte público, un operador de autobuses podría beneficiarse de un modelo de suscripción de baterías, en el cual las baterías son intercambiadas en estaciones específicas sin necesidad de que el



operador posea directamente todas las baterías utilizadas en sus vehículos. Este enfoque reduce significativamente la inversión inicial y los costos operativos, al tiempo que mejora la eficiencia y flexibilidad en la gestión de recursos energéticos. Estos modelos innovadores, por lo tanto, no solo facilitan una mayor adopción de VE en entornos comerciales y de flotas, sino que también abren nuevas oportunidades para operaciones más sostenibles y eficientes.

- Los proveedores podrían verse interesados en la implementación de tecnologías avanzadas para facilitar el intercambio de baterías, como brazos robóticos de intercambio y sistemas de gestión de baterías inteligentes. Estas tecnologías mejoran la eficiencia y la seguridad del proceso de intercambio.
- Un desafío constante para los proveedores es la necesidad de estandarizar las baterías mientras se adapta a las diferentes especificaciones de los distintos fabricantes de vehículos eléctricos.

Destacar que los proveedores también deben considerar el impacto ambiental del ciclo de vida de las baterías, incluyendo estrategias efectivas para el reciclaje y la disposición segura de baterías usadas o dañadas.



### 3. ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN CARGA DIURNA

Para poder conocer con mayor claridad cuáles son los aspectos más relevantes a tener en cuenta para la implementación de esta tecnología de “swap” de baterías para la recarga del transporte público de autobuses de República Dominicana, a continuación, se listan y se detallan cada uno de ellos.

#### 3.1. Identificación de desafíos técnicos y operativos

La implementación de sistemas de carga diurna para autobuses eléctricos presenta una serie de desafíos técnicos y operativos que deben ser evaluados para garantizar la eficiencia, fiabilidad y sostenibilidad del servicio. A continuación, se detallan los principales aspectos a considerar en el desarrollo de esta modalidad de recarga.

- ❖ Los sistemas de carga diurna implican inversiones significativas tanto en infraestructura como en operación. Los costes se distribuyen en varias áreas clave:
  - La implementación de pantógrafos o equipos de recarga con manguera y la conexión eléctrica necesaria representan una inversión inicial considerable. Esto incluye el coste de los equipos de carga rápida, la adaptación de las instalaciones para su instalación y la integración con sistemas de generación de energía renovable, si es necesario.
  - En casos donde se opta por la generación de energía in situ, como sistemas fotovoltaicos, se añaden costes adicionales para la adquisición e instalación de paneles solares y la infraestructura necesaria para su óptimo funcionamiento. Afortunadamente, la modalidad de carga diurna en República Dominicana cuenta con una elevada disponibilidad energética de la red eléctrica.
  - Cuando la energía generada localmente es insuficiente en un horario diurno, especialmente en condiciones climáticas adversas, es crucial considerar el coste de la energía consumida de la red, o las consideraciones económicas del convenio que se haya aceptado.
  - La instalación de sistemas de almacenamiento de energía para gestionar el excedente de producción solar y garantizar la disponibilidad de energía durante picos de demanda o condiciones desfavorables añade otra capa de coste operativo y de inversión.
  - El mantenimiento regular y la operación de la infraestructura de carga son esenciales para asegurar la continuidad y fiabilidad del servicio. Esto incluye costes asociados con el personal, la formación, las plataformas de gestión y la atención a incidencias.
- ❖ La carga rápida impone un desafío significativo en cuanto a la durabilidad y fiabilidad de los componentes del sistema, especialmente las baterías. La carga rápida puede acelerar la degradación de las baterías si no se gestionan adecuadamente, reduciendo su vida útil y eficiencia. La implementación de un



sistema de gestión de baterías (BMS) eficaz es recomendable para monitorear y optimizar el proceso de carga, protegiendo las baterías contra daños y prolongando su durabilidad.

- ❖ La necesidad de espacio para la instalación de pantógrafos o equipos de recarga con manguera y, potencialmente, sistemas de generación fotovoltaica y almacenamiento de energía presenta un desafío en términos de infraestructura y escalabilidad. Por otro lado, la planificación del espacio y la integración de estos componentes en el entorno urbano deben considerarse para minimizar el impacto visual y maximizar la eficiencia del uso del suelo. Además, la adaptación de la infraestructura eléctrica existente para soportar las altas demandas de energía de la carga rápida es un desafío técnico que requiere una evaluación detallada y quizá una actualización de la red eléctrica local.
- ❖ Tal y como se ha mencionado en los apartados anteriores a este, la operación de un sistema de carga diurna eficiente requiere una gestión logística sofisticada para optimizar los tiempos de carga y garantizar la disponibilidad de autobuses eléctricos cuando se necesiten. Esto implica una planificación detallada de las rutas, los horarios de carga y la coordinación entre los equipos de operación y mantenimiento.
- ❖ La falta de normativas y estándares específicos para la carga diurna y la infraestructura asociada en República Dominicana puede ser un obstáculo para la implementación y la interoperabilidad entre diferentes marcas y modelos de autobuses eléctricos. La colaboración entre fabricantes, operadores de transporte y autoridades reguladoras es clave para desarrollar un marco que facilite la adopción de esta tecnología.
- ❖ El rápido avance en la tecnología de baterías y sistemas de carga sugiere que las soluciones actuales pueden evolucionar rápidamente, por lo que es recomendable trabajar tomando en consideración una ampliación o actualización de los servicios, sobredimensionando las instalaciones en algunos casos y facilitando el recambio de los elementos esenciales.
- ❖ La integración de sistemas de carga diurna con la red eléctrica existente no solo plantea desafíos técnicos, sino también regulatorios y económicos. La capacidad de la red para soportar picos de demanda generados por la carga rápida de autobuses eléctricos sin comprometer la estabilidad del suministro eléctrico es importante a tener en cuenta, a pesar de la situación actual de República Dominicana en el que se dispone de una elevada disponibilidad de energía renovable en horario diurno. Se recomienda una coordinación estrecha con las compañías eléctricas o CUED (Consejo Unificado de las Empresas Distribuidoras de Electricidad) y reguladores para planificar adecuadamente las actualizaciones de infraestructura y asegurar convenios que no obstaculicen la viabilidad económica del proyecto.



- ❖ La identificación de fuentes de financiación sostenibles es fundamental para el éxito a largo plazo de los proyectos de carga diurna. Esto puede incluir asociaciones público-privadas, subvenciones gubernamentales, bonos verdes, o inversión privada incentivada por políticas de apoyo a la movilidad eléctrica. Tener claridad en cómo se recuperará la inversión y cómo se generarán ingresos, enfocándose más en objetivos de sostenibilidad que en cifras económicas exactas, es crucial para garantizar la solidez financiera y atraer la inversión requerida.

Es importante para superar estos obstáculos y aprovechar al máximo el potencial de la carga diurna en el futuro del transporte público de autobuses la colaboración entre todos los actores involucrados, incluidos: CNCCMDL (Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio), INTRANT (Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre), Ministerio de Energía y Minas, CNE (Comisión Nacional de Energía), OMSA (Operadora Metropolitana de Servicio de Autobuses), FIMOVIT (El Fideicomiso de Movilidad y Transporte), Consejo Unificado de las Empresas Distribuidoras de Electricidad (CUED), Estado Dominicano, Instituciones financieras (Organismos internacionales, inversionistas/empresas privadas...), Firmas de ingeniería y consultoría, fabricantes y proveedores y comunidades y usuarios finales.

### 3.2. Implementación del sistema de carga diurna

A continuación, se pretende esquematizar el proceso de implantación para la infraestructura de carga diurna, sabiendo que principalmente ésta deberá ir acorde a la situación actual del servicio de transporte público de autobuses en República Dominicana.

Cabe destacar que es crucial definir previamente el modelo más adecuado para el sistema de carga diurna, adaptándolo a la situación actual. Siendo una opción instalar estaciones de recarga ultra-rápida de “Oportunidad” en ciertos módulos o patios, aprovechando los periodos largos en que los autobuses están parados en tiempos de regulación. O, por otro lado, la posibilidad reorganizar los horarios para establecer tiempos de carga fijos en lugares específicos durante el descanso de los vehículos, similar a una carga nocturna pero realizada durante el día.



#### Evaluación del estado actual de los corredores de autobuses:

En el contexto de un servicio público, la tarea de evaluar la densidad de vehículos eléctricos, los patrones de tráfico y las áreas clave de demanda energética es fundamental. Sin embargo, para el caso de estudio en cuestión, se centra en identificar aquellos patios o módulos que representen un punto óptimo e ideal para la recarga de autobuses eléctricos en diferentes corredores. Esto implica considerar los tiempos disponibles para la recarga y buscar compatibilidades con otros puntos alrededor para desarrollar planes de contingencia efectivos en situaciones donde la recarga no sea posible. *(Fase similar a la de "swap" de baterías)*



#### Planificación y diseño del sistema de la carga diurna:

Tras una reorganización de los corredores y un estudio de trayectos o similar, será necesario determinar la demanda energética de la flota actual de autobuses. Esto ayudará a conocer cuál debe ser la capacidad de potencia necesaria en cada ubicación, el tipo de estaciones de recarga y otros aspectos fundamentales para el óptimo funcionamiento del sistema. Finalmente, será posible conocer la superficie útil necesaria para la instalación del sistema con la que terminar de seleccionar la ubicación más óptima. *(Fase similar a la de "swap" de baterías)*



#### Estrategia Operativa:

Este apartado aborda la creación de un sistema de explotación y gestión para esta modalidad de recarga. Se determinará el modelo de recarga más adecuado de cara a mantener el servicio actual, ya sea través de una carga de "oportunidad" puntual o de un ajuste de los horarios para obtener tiempos de carga durante el día, fuera del horario de servicio, siempre buscando optimizar al máximo los tiempos disponibles. Adicionalmente, se implementarán mecanismos para la gestión de datos y de incidencias, políticas de servicio, y se definirán los roles de los distintos participantes involucrados en el proceso.



#### Gestión de Energía:

Dado que la red distribución eléctrica actual de República Dominicana dispone de energía renovable suficiente durante el día, no será tan necesario abordar la compatibilidad con sistemas de generación de energía, como las plantas fotovoltaicas. Sin embargo, si que se deberán plantear estrategias para alinear la carga con los requisitos de la red de distribución, como se menciona en la introducción de este documento sobre los convenios con la red.



#### Tecnología y Equipamiento:

Será crucial seleccionar la tecnología de carga más adecuada para el servicio (pantógrafo "down" o "up", manguera, ...) y sistema de gestión óptimo para los autobuses eléctricos y su servicio. Esto requiere un conocimiento detallado de las características del servicio y de los autobuses, con el fin de estandarizar la metodología de carga. Además, se necesita inversión en hardware y software para lograr operaciones eficientes, que faciliten el seguimiento y diagnóstico para una mejora continua. Dado la gran experiencia de esta tecnología de carga y su protocolo de comunicación generalizado, será importante contactar con diversos proveedores para seleccionar las mejores soluciones a nivel técnico-económico.



#### Cumplimiento y Normativas:

A pesar de la gran experiencia de la tecnología, resulta esencial desarrollar una regulación específica para esta modalidad de carga que sirva como guía para los operadores de servicios de transporte público en autobús. Dicha regulación debe ajustarse a las normativas locales y a los estándares de seguridad. Asimismo, es recomendable tener en cuenta consideraciones ambientales y de sostenibilidad. *(Fase similar a la de "swap" de baterías)*



### 3.3. Impacto legal y político

La implementación de estaciones de carga diurna con equipos de recarga con conexión mediante manguera o pantógrafo para autobuses eléctricos implica consideraciones legales y normativas significativas, aunque posiblemente más sencillas de abordar que para la modalidad de “swap” de baterías, dada la madurez y la adopción internacional de esta tecnología. Generalmente, estas consideraciones incluyen los siguientes aspectos:

#### **Normativas de seguridad y estándares técnicos:**

Cumplimiento con estándares de seguridad internacionales para la instalación y operación de equipos de carga.

Normativas relacionadas con la seguridad eléctrica y protección contra sobrecargas o cortocircuitos.

Estándares técnicos para asegurar la compatibilidad entre diferentes marcas y modelos de vehículos eléctricos y equipos de recarga de manguera o pantógrafo.

#### **Permisos y licencias:**

Obtención de permisos de construcción y operación adaptados a la infraestructura de carga específica.

Licencias para operadores de estaciones de carga, incluyendo requisitos de seguridad y accesibilidad.

#### **Regulaciones ambientales:**

Cumplimiento con leyes ambientales relacionadas con la eficiencia energética de los equipos de carga.

Evaluación de impacto ambiental para la construcción de nuevas estaciones de carga en áreas urbanas o sensibles y gestión de residuos.

#### **Cuestiones de propiedad y responsabilidad:**

Definición legal de la propiedad de los equipos de carga y responsabilidades en caso de fallas o daños durante el proceso de carga.

Acuerdos de nivel de servicio y garantías.

#### **Normativas de integración a la red eléctrica:**

Regulaciones sobre la conexión de estaciones de carga a la red eléctrica, enfocadas en la gestión de la demanda y la estabilidad de la red.

Normativas para la implementación de soluciones de carga inteligente y gestión de carga para optimizar el uso de energía renovable, si es el caso.

#### **Cumplimiento con normas internacionales:**

Adherencia a estándares internacionales de carga de vehículos eléctricos, facilitando la interoperabilidad y la adopción a nivel global.

Seguir las recomendaciones de entidades internacionales para unificar los métodos de carga.

Dada la evolución de la tecnología de carga, sería recomendable revisar y ajustar las regulaciones existentes para facilitar su implementación. Los operadores de flotas y estaciones de carga podrían beneficiarse de la experiencia internacional para optimizar la ubicación de las estaciones de carga y simplificar el proceso de obtención de permisos.



La adopción de esta tecnología también puede verse influenciada por las políticas estatales y las iniciativas gubernamentales, aunque posiblemente en menor medida que tecnologías emergentes como el swap de baterías. Sin embargo, la comparación de políticas estatales de otros países sigue siendo valiosa para formular políticas y regulaciones efectivas.

Sería recomendable, establecer o ajustar estas regulaciones estrictas y mecanismos de control de calidad, colaborando con el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT).

### 3.4. Impacto ambiental

La carga diurna de vehículos eléctricos presenta una oportunidad significativa para integrar energías renovables, como la solar y eólica, directamente en el proceso de carga. Dado que estas fuentes de energía son más abundantes durante el día, su aprovechamiento reduce la dependencia de los combustibles fósiles y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de energía eléctrica. Sin embargo, la variabilidad de estas fuentes renovables puede requerir sistemas de almacenamiento de energía o redes inteligentes para equilibrar la oferta y demanda, lo cual conlleva una huella ambiental en términos de la producción y reciclaje de baterías de almacenamiento. Aunque esta modalidad promueve una mayor penetración de energías limpias, es fundamental considerar y mitigar los impactos ambientales derivados de los sistemas auxiliares necesarios para su implementación efectiva.

Desde el punto de vista técnico, el aprovechamiento de la energía renovable para la carga diurna de vehículos eléctricos enfrenta el reto de la intermitencia de estas fuentes. Por ejemplo, la generación solar varía significativamente a lo largo del día y es afectada por condiciones climáticas. Para abordar esto, se estima que la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía, como baterías de litio-ion, puede aumentar la eficiencia de uso de energías renovables.

### 3.5. Beneficios de la promoción de la modalidad de carga diurna

La promoción de la carga diurna con equipos de carga mediante conexión con manguera o pantógrafo para autobuses es clave para impulsar el uso de vehículos eléctricos en el transporte público. Facilitando una carga rápida y eficiente, se abordan las preocupaciones sobre los tiempos de carga y autonomía, haciéndolos más atractivos para los operadores. Es crucial el apoyo mediante subvenciones y beneficios fiscales dirigidos a la infraestructura de carga y la adquisición de flotas de autobuses eléctricos; y la colaboración entre sectores público y privado, junto con el fomento de la investigación y la concienciación sobre estas tecnologías.

### 3.6. Consideraciones adicionales de la tecnología de carga diurna mediante pantógrafo, manguera y del control de las baterías



La modalidad de carga diurna para autobuses eléctricos se puede implementar de diferentes maneras, ya sea con carga conductiva como inductiva. Dentro de la carga conductiva, se encuentran principalmente dos modalidades, mediante conexión con manguera o pantógrafo. Cada una de ellas, presenta unas características concretas que definirán, en parte, el proceso y las condiciones de carga.

### **Ubicación elementos de carga:**

En caso de trabajar con ambas modalidades de carga conductiva mencionadas, los autobuses deberían disponer de conexión por pantógrafo para la recarga de oportunidad en ruta y de toma de contacto para la carga en módulo/patio, si es el caso.

La ubicación de la infraestructura de recarga determinará, en parte, la ubicación de estos elementos. A modo de ejemplo, si fuera el caso, el pantógrafo (up) (pantógrafo ubicado en el vehículo eléctrico y campana fija en estación de carga) debería quedar cerca de la zona próxima al puesto del conductor en caso de que el estacionamiento para la carga sea frontal. Lo mismo se aplicaría al conector mediante cable de alimentación eléctrica. Por ejemplo, ubicar el conector para la carga en manguera sobre el paso de rueda delantero derecho.

Es esencial antes de proponer cualquier renovación de vehículos, conocer con claridad como se estacionarán los autobuses frente a las estaciones de recarga.

### **Normas, estándares y protocolos de comunicación:**

Si hablamos de la comunicación entre la infraestructura de recarga: Todas las partes de la estructura de recarga, ya sea el pantógrafo del autobús como el brazo fijo del punto de recarga, suelen trabajar en base a las normas de comunicación ISO 15118 (Siguiendo el estándar IEC 61851) y las normas (opcionales) DIN 70121, VDV 261 o similares. Estos estándares permiten la interoperabilidad y la transmisión de datos entre los diferentes componentes del sistema de carga, garantizando la seguridad y la eficiencia de la recarga de los vehículos eléctricos. Es decir, los procesos de interconexión entre los cargadores y los vehículos cumplirían la normativa ISO 15118 (Siguiendo el estándar IEC 61851), con comunicación adicional RFID si es necesario. Cabe destacar que, para pantógrafo invertido, se contempla el protocolo OPPCharge, conjuntamente con las normas mencionadas ISO 15118, para la comunicación.

El pantógrafo (up), si es el caso, quedaría conectado a la campana una vez realizada la carga comunicante pudiendo ser monitorizado en todo momento.

Cabe destacar también que, en caso de que hubiera una potencia disponible inferior a la instalada y la modalidad e infraestructura de carga lo permita, se recomienda implementar una gestión inteligente de la carga, que permite la dosificación y reparto de carga y perfiles por horarios, y la posibilidad de parar o arrancar remotamente, con el fin de optimizar la disponibilidad de energía y la gestión de las cargas de los diferentes vehículos eléctricos en función de la demanda y la disponibilidad de energía.



Por otro lado, el sistema de control instalado debería compatible con la instalación de infraestructura de recarga mediante conexión pantógrafo o manguera que cumpla con el OCPP (Protocolo de comunicación entre infraestructura de recarga y vehículos eléctricos). A nivel de comunicaciones entre el cargador y el centro de control es usual contemplar el protocolo OCPP 1.6 como mínimo o equivalente/superior, con, en caso necesario, licencias permanentes para la gestión de carga.

### **Sistema de monitorización:**

Aunque en función de la situación no es imprescindible, resulta recomendable disponer de un sistema telemático de control, gestión, monitorización, actualización y visualización del sistema y estado de carga de las baterías de tracción del autobús y de los dispositivos de carga:

- Monitorización de la carga en caso necesario: el software debería contar con una función de monitorización de la carga para controlar la intensidad de corriente que se transfiere a la batería del vehículo y el estado de carga de la misma. Para ello contaría con el BMS (Battery Management System), con quien se comunicará el software de gestión para garantizar que la carga se realice de manera segura y eficiente.
- Seguridad: el software debería cumplir con las normativas y regulaciones de seguridad aplicables para garantizar la seguridad del conductor, del vehículo y de la infraestructura. El software debería incluir medidas de seguridad adicionales para prevenir posibles riesgos y amenazas externas, como posibles ataques cibernéticos.
- Compatibilidad: el software debería ser compatible con el hardware utilizado en la campana receptora, el vehículo y la infraestructura, así como, si es el caso, en el sistema de carga dinámica. Además, el software debe ser compatible con los protocolos de comunicación utilizados en el sistema de carga, como OCPP.
- Fiabilidad: el software debe ser fiable y estar diseñado para funcionar de manera continua y estable, sin interrupciones ni fallos. El software debe ser capaz de manejar cualquier posible error o fallo en el proceso de carga y corregirlo de manera rápida y efectiva.

Para el BMS se suelen considerar las siguientes especificaciones:

- Monitorización del estado de la batería: el BMS debería ser capaz de monitorizar constantemente el estado de la batería, incluyendo la tensión, la corriente y la temperatura, para asegurarse de que la batería se esté cargando y descargando correctamente.
- Balanceo de tensión de las celdas de la batería: el BMS debería ser capaz de llevar a cabo una carga lenta para un correcto balanceo de tensión en las celdas de la batería, lo que ayuda a garantizar una distribución uniforme de la carga entre las celdas y prolongar la vida útil de la batería. El BMS facilita el control en todo momento y asegura que la inyección de potencia a la batería sea la adecuada para el balanceo.



Además, el BMS no solo actúa ayudando al balanceo de tensión en las celdas de la batería, sino que monitoriza la carga en todo momento evitando sobrecargas, monitoreando la tensión, corriente, temperatura, entre otros:

- Protección contra sobrecargas: el BMS debería ser capaz de detectar y prevenir sobrecargas en la batería, lo que puede dañar las celdas y reducir la vida útil de la batería, ajustando automáticamente la corriente de carga.
- Protección contra descargas excesivas: el BMS debería ser capaz de detectar y prevenir descargas excesivas en la batería, lo que también puede dañar las celdas y reducir la vida útil de la batería, ajustando automáticamente la corriente de carga.
- Temperatura de operación: el BMS debería estar diseñado para operar dentro de una cierta gama de temperaturas.
- Capacidad de corriente: el BMS debería ser capaz de manejar la capacidad de corriente de carga y descarga de la batería.
- Comunicación con el sistema de carga: el BMS debería ser capaz de comunicarse con el sistema de carga para garantizar una carga segura y eficiente de la batería del vehículo.
- Comunicación con el sistema de gestión de vehículo: el BMS debería ser capaz de comunicarse con el sistema de gestión del vehículo para proporcionar información sobre el estado de la batería y ayudar a optimizar la eficiencia energética del vehículo.

Es importante que todos los equipos/elementos que deban estar interconectados y funcionar en conjunto sean compatibles entre ellos y compartan los mismos protocolos de comunicación. Insistiendo en lo indicado anteriormente, la posición de los conectores y el pantógrafo debe estar acorde a la posición de los equipos de recarga y el estacionamiento del autobús.

Las baterías utilizadas normalmente en vehículos eléctricos son las de iones de litio debido a su alta densidad de energía, alta eficiencia, bajo mantenimiento y larga vida útil. Suelen tener una durabilidad de 8-10 años, aunque su vida útil dependerá de un correcto mantenimiento. Para asegurar este correcto mantenimiento, se recomienda una vez más el uso del BMS, con quien se comunica el software de gestión para garantizar que la carga se realice de manera segura y eficiente, y para monitorizar el estado de la batería durante el proceso de carga. Es importante que el modelo de vehículos eléctrico a utilizar o la batería del mismo, garantice una carga correcta con las potencias que vayan a poder suministrar los equipos de recarga.

### **Sistema de ayuda a la explotación y a la información:**

La electrificación de una flota de autobuses conlleva la necesidad de establecer horarios de carga precisos para optimizar la operación diaria. La limitada capacidad de las baterías actuales, generalmente adecuada para un servicio diario, restringe el kilometraje y los períodos de actividad de los autobuses eléctricos. En este contexto, estandarizar un servicio



riguroso y regular emerge como un objetivo clave en la transición hacia autobuses eléctricos para República Dominicana.

Para alcanzar este fin, puede resultar esencial implementar un Sistema de Ayuda a la Explotación y a la Información (SAEI) adaptado a las necesidades específicas de los corredores objeto de estudio. Este sistema debe integrar todos los elementos necesarios para el adecuado desempeño del servicio, incluyendo software, equipos de control tanto en ruta como en cocheras, y otros componentes esenciales.

El SAEI facilita una gestión eficaz, siendo algunas de sus características opcionales:

- Generación de datos de localización para evaluar la puntualidad y regularidad del servicio.
- Actualización en tiempo real del tiempo de espera en paradas, mejorando la información al usuario (a través de apps y paneles), si se ve necesario.
- Suministro de información relevante en paradas y dentro de los vehículos, así como asistencia a la conducción.
- Interoperabilidad con los vehículos para monitorear velocidad, temperatura, consumo, entre otros datos, y gestionar alertas.
- Recuento de pasajeros y mejora de la seguridad mediante sistemas de cámaras, almacenando datos históricos.
- Compatibilidad con sistemas de gestión de flotas (FMS).
- Pantallas informativas en paradas y vehículos, y otras mejoras operativas.

Sin embargo, la implementación de un SAEI implica costos adicionales de operación, dependiendo del alcance del servicio electrificado y los requisitos mínimos que se requieran para una correcta gestión.

#### **Consecuencias modalidad de carga conductiva con pantógrafo:**

A continuación, se detallan otros aspectos del servicio para el contacto del pantógrafo (up) con la campana fija.

- Se suelen trabajar con carreteras planas e idealmente con un corte perfilado para que el vehículo esté siempre en posición paralela y en ángulo recto a la cúpula de contacto. Esta condición debe ser revisada y mantenida durante toda la vida útil.

Eso no significa que las carreteras deben ser totalmente planas o disponer un corte perfilado. Normalmente los fabricantes permiten un grado de desviación por una carretera en mal estado (2°-5°, usualmente por la inclinación del autobús cuando suben pasajeros), por lo que se recomendaría comprobar que la inclinación lateral de la carretera no supere estos ángulos, y en cuyo caso, indicar que se requerirá de una infraestructura de recarga que si lo permita. En función del estado de la carretera,



sería recomendable solicitar unas desviaciones mínimas que debería soportar la infraestructura de recarga, sin comprometer a los fabricantes.

Cabe destacar que, dentro de la estructura de contacto de la campana y el pantógrafo, podría considerarse un pin de proximidad (sistema de comunicación) para ayudar a la conexión correcta entre el pantógrafo y la campana, aunque no para ayudar a compensar cualquier tipo de desviación provocada por la carretera. Aun así, es importante que la vía este siempre en las mejores condiciones óptimas para la acción de recarga. El pin de proximidad puede ayudar a la hora de hacer la maniobra de aproximación y acople por parte del conductor, pero las condiciones del terreno deben ser tales que se pueda garantizar en todo momento una posición paralela del autobús con la calzada y formando un ángulo lo más recto posible con la cúpula de contacto. Además, cabe destacar que muchos fabricantes y proveedores no disponen o prescinden del pin de proximidad, dado que el conductor debería poder ejecutar las maniobras pertinentes con una buena señalización de la zona de estacionamiento.

- El mástil de la calzada (la infraestructura que sostiene la campana) debe ser lo suficientemente rígido para garantizar que la campana de contacto permanezca en posición incluso en condiciones de viento.
- Las desviaciones de posición completas, consistentes en las tolerancias de instalación, cubren el movimiento, las desviaciones de la calzada y las tolerancias de parada del vehículo deben estar dentro de los límites durante toda la vida útil. En el caso de pantógrafo (up) estos límites dependen del posicionamiento del pantógrafo en el techo del vehículo.

Un ejemplo de las dimensiones de una campana de contacto sería el siguiente:

- Longitud de la campana: 1,300 mm
- Amplitud de la campana : mm
- Altura de la campana : 385 mm
- Peso aproximado de la campana: 45 kg

Un ejemplo del proceso de conexión sería el siguiente:

El conductor visualiza información sobre el estado de carga en la pantalla del vehículo y confirma la carga con una iluminación azul del logo (luz continua). Cuando un error ocurre durante el proceso de carga se indica mediante la iluminación roja del logo (sea causado por la infraestructura o el vehículo) y la carga se detiene inmediatamente, lo que significa que los conectores DC en la estación de carga y en el vehículo se desconectan.

#### **Consideraciones adicionales:**

En el contexto de adoptar una modalidad de carga específica para autobuses eléctricos, es crucial considerar ciertas características esenciales de los vehículos que utilizarán la infraestructura de recarga. Si se contemplara la posibilidad de una licitación o se iniciaran



conversaciones directas con fabricantes o proveedores, sería recomendable evaluar varios aspectos de forma general, como la autonomía y eficiencia energética de los autobuses mediante pruebas in situ, la conformidad de los dispositivos de carga con los requerimientos del servicio, la disponibilidad de repuestos y el soporte postventa, incluyendo tiempos de respuesta para mantenimiento y garantías. Además, sería beneficioso que los ofertantes propusieran ajustes o mejoras a las especificaciones técnicas iniciales, proporcionaran planes de mantenimiento detallados y aseguraran la integración de sistemas automáticos para la gestión eficiente de las baterías, evitando impactos negativos en su rendimiento. También, sería conveniente que los autobuses incluyan sistemas de frenado regenerativo y baterías auxiliares para optimizar la operatividad del vehículo. Estos criterios, tratados de manera general, podrían guiar la selección de autobuses eléctricos adecuados para el servicio de transporte público de autobuses en República Dominicana.

BORRADOR



## 4. CONCLUSIÓN

En la transición hacia vehículos eléctricos (VE) para el transporte público de autobuses de República Dominicana, se presentan desafíos que requieren soluciones innovadoras para su superación. Entre estas soluciones, la implementación de estaciones de "swap" de baterías o la adopción de sistemas de carga diurna mediante equipos de recarga, ya sea pantógrafo o manguera, aparecen como alternativas prometedoras para mejorar la eficiencia y operatividad del servicio de transporte público.

El modelo de "swap" de baterías, aunque representa una solución rápida para el reemplazo de baterías, enfrenta retos como el alto costo inicial, la necesidad de estandarizar baterías, y la inversión significativa en infraestructura de intercambio. A pesar de estos desafíos, el "swap" de baterías ofrece una opción viable para minimizar los tiempos de inactividad de los autobuses, siendo especialmente útil en sistemas donde la rapidez de recarga es crítica para mantener una flota operativa durante todo el día. Sin embargo, esta tecnología, menos explorada en algunos contextos, como Europa, requiere una mayor investigación sobre sus mecanismos de operación y gestión.

Por otro lado, la carga diurna con equipos de recarga, sea mediante pantógrafo o manguera, aprovecha la elevada disponibilidad de energía renovable durante el día en República Dominicana, adaptándose eficientemente a las necesidades energéticas actuales y promoviendo la sostenibilidad ambiental. Esta modalidad, que dispone de una base tecnológica y operativa más establecida, presenta protocolos y mecanismos de servicio claros y generalizados, facilitando su implementación y gestión.

Ambas tecnologías, el "swap" de baterías y la carga diurna, ofrecen ventajas complementarias. Mientras el "swap" permite una rápida sustitución de baterías, ideal para mantener la continuidad del servicio sin largos periodos de inactividad, la carga diurna se ve reforzada por contar con una alta experiencia en el sector y unos protocolos únicos y ampliamente aceptados. La elección entre estas opciones debería basarse en un análisis detallado de las condiciones locales, incluyendo la disponibilidad de infraestructura, las políticas existentes y las necesidades específicas del sistema de transporte público.

Cabe destacar que la implementación correcta de estas tecnologías requiere políticas de apoyo, inversiones en infraestructura, y una planificación estratégica que considere tanto el flujo de autobuses como las necesidades energéticas. Además, es esencial establecer marcos regulatorios que fomenten la adopción de estas soluciones, incluyendo incentivos financieros, desarrollo de estándares técnicos, y fomento de la colaboración entre los sectores público y privado.

En conclusión, tanto el modelo de "swap" de baterías como la carga diurna son alternativas eficientes para la electrificación de la flota de autobuses en República Dominicana.



Financiado por  
la Unión Europea



**FIIAPP**  
COOPERACIÓN ESPAÑOLA



  
PRESIDENCIA DE LA  
REPÚBLICA DOMINICANA  
**Consejo Nacional  
para el Cambio Climático**

  
**INTRANT**  
INSTITUTO NACIONAL DE TRÁNSITO  
Y TRANSPORTE TERRESTRE