

# Diseño de una Herramienta de Información para la Transición a Buses Eléctricos Alimentados con Energía Solar

Katherine Altamar Cerpa, Laura Orozco Arroyo y  
Kenneth Vilorio Reales

*Ingeniería Industrial, Universidad del Norte  
Barranquilla, Atlántico*

*katherine.altamar@uninorte.edu.co  
dorozcol@uninorte.edu.co  
rkenneth@uninorte.edu.co*

**Resumen**— Barranquilla es una ciudad que gracias a su ubicación geográfica cuenta con un gran potencial para la obtención de energía solar, alcanzando valores de radiación solar de hasta  $6.5 \text{ kWh/día/m}^2$  de acuerdo con lo descrito en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, desarrollado por el IDEAM en el año 2018 [1]. Teniendo en cuenta esta ventaja y pensando en la necesidad de conducir nuestra ciudad hacia el uso de las energías limpias y renovables, descubrimos en este recurso una alternativa aplicable al transporte público de la ciudad, un sector que afecta considerablemente al medio ambiente debido al uso de combustibles fósiles, tales como gas natural, carbón o petróleo, elementos que en su transformación se convierten en agentes contaminantes.

Para incluir el sector de transporte público en el proceso de transición energética de la ciudad, encontramos pertinente atacar el déficit de información respecto al uso de energías amigables en el tráfico urbano, esto mediante el diseño de una herramienta de información que nos guíe en la toma de decisiones para reemplazar buses convencionales por buses eléctricos alimentados con energía solar.

El modelo de selección de buses eléctricos fue desarrollado mediante programación lineal a través del lenguaje de programación R, teniendo en cuenta las necesidades de las distintas empresas de transporte, cómo lo son la capacidad de pasajeros, tiempo de carga, autonomía, entre otras. Posterior a la escogencia del modelo de bus, se calcula su respectivo consumo energético mensual.

Finalmente, con la demanda eléctrica del bus y la estimación de energía solar adquirida en Barranquilla, buscamos determinar el número de paneles solares capaces de cubrir este requerimiento de energía.

A pesar de las limitaciones abordadas durante la ejecución del proyecto, tales como la complejidad en el planteamiento del modelo y restricciones en la accesibilidad, disponibilidad y calidad de los datos, el resultado obtenido es una herramienta capaz de brindar

información útil para la movilidad urbana en su transición a las energías renovables, caracterizada por un diseño que le permite ser replicable en otros escenarios, y también, por contar con una interfaz de usuario sencilla de usar.

**Palabras Claves**—, energías renovables, buses eléctricos, transición, herramienta, aplicativo web, modelo matemático.

**Keywords**—, renewable energies, electric buses, transition, tool, web application, mathematical model.

## I. INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo este proyecto de grado, siguiendo los lineamientos propuestos por nuestro docente acerca del uso de las energías renovables, tomamos la decisión de enfocarnos en el aprovechamiento del recurso solar dentro del sector de transporte público en Barranquilla dado que es un sector que brinda servicio a un gran número de personas y que aporta considerablemente a los problemas de contaminación en nuestra ciudad. Esta elección nace del deseo de contribuir a la implementación de energías amigables con el medio ambiente desde un contexto social. De acuerdo con lo mencionado en [2], para el caso de la movilidad urbana en la capital del Atlántico, el mayor contaminante es el material particulado proveniente del uso de combustibles en camiones, buses, camionetas, entre otros. Esto, de la mano con el incumplimiento de lo descrito en el artículo 15 de la resolución 910 de 2008, en donde se establecen los niveles aceptables o permisibles de emisión de gases contaminantes que deben cumplir los diferentes tipos de vehículos, pone a Barranquilla en una posición vulnerable en términos de la calidad del aire.

La energía solar fue la seleccionada para alimentar este proyecto debido a las características favorables que nos brinda la ubicación geográfica de Colombia, país ubicado sobre la línea ecuatorial que cuenta con radiación solar constante las 12 horas del día, la mayor parte del año. De hecho, es Barranquilla una de las ciudades con mayor potencial para el desarrollo de la energía solar con un promedio de  $6.5 \text{ kWh/día/m}^2$  [1].

Luego de evidenciar que una de las razones de la poca penetración del uso de energías renovables en el sector de

transporte público es la falta de información, definimos que nuestra estrategia para contrarrestar esta situación, es presentar una herramienta informativa que nos permita conocer el modelo de bus eléctrico que puede sustituir un bus convencional acoplándose al sistema de transporte previamente diseñado y asimismo conocer el consumo energético del bus escogido y la cantidad de paneles solares que pueden suplir dicha demanda eléctrica

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general

Diseñar una herramienta de información que facilite la selección de buses eléctricos que sustituyan los buses convencionales, para fomentar así la transición al uso de energías limpias en la movilidad urbana.

### B. Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de información relevante para la construcción del modelo de selección.
- Formular un modelo matemático para la selección de modelos de buses eléctricos basado en los requerimientos y restricciones de la ruta de bus convencional.
- Definir el flujo de información y las ecuaciones que permitan calcular los resultados de la aplicación.
- Desarrollar una aplicación con una interfaz de usuario amigable que proyecte los resultados obtenidos a partir del modelo de selección.

## III. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto se utilizó la metodología de Michael French. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

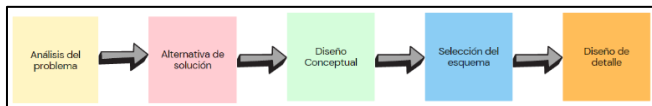


Fig. 1. Metodología del proyecto.

### A. Análisis del problema

La poca penetración del uso de energías renovables en el sector de transporte público se encuentra asociada a factores tales como el desconocimiento y la ausencia de información sobre cómo emplearlas; no contamos con herramientas de estudio, pronósticos de consumo, estimaciones de demanda o recopilación de datos de las fuentes de energías limpias que se encuentran presentes en la zona. Asimismo, hay una evidente ausencia de inversión en este tipo de proyectos, consecuencia de los prejuicios asociados a los altos costos iniciales y de la falta de confianza sobre la rentabilidad de estos mismos. Por otro lado, encontramos la resistencia al cambio que suele existir en cuanto a la transición hacia el uso de nuevas fuentes de energía, donde el temor a la incertidumbre afecta en la toma de decisiones en pro del progreso. Finalmente, es inevitable no mencionar el cómo la desorganización actual del sistema de transporte público dificulta el desarrollo de nuevos métodos de optimización del servicio.

### B. Alternativa de Solución

Diseño de una herramienta para la selección de buses eléctricos mediante un modelo desarrollado en el lenguaje de programación R.

Esta solución consiste en la elaboración de una herramienta de información, la cual inicialmente nos permitirá por medio de un modelo, seleccionar un modelo de flota eléctrica que sustituya una ruta de transporte actual, brindándonos además el consumo energético que supondrá el empleo del bus escogido, teniendo en cuenta que la decisión es alimentada por una base de datos diseñada para el propio modelo. Finalmente, dicho recurso, nos permite conocer la cantidad de paneles necesarios para cubrir los requerimientos de energía eléctrica de cada medio de transporte escogido.

### C. Diseño conceptual

Se realizará un modelo de selección de buses eléctricos, de tal forma que teniendo en cuenta las diferentes características de estos buses, con la información que obtengamos de los fabricantes de estos, podamos escoger el bus eléctrico que mejor se ajuste a las necesidades y reemplace el bus convencional actual. Aquí, tendríamos en cuenta la capacidad necesaria del bus, el recorrido, la autonomía, las distancias, entre otros. Se planea diseñar un modelo matemático mediante programación lineal, haciendo partícipe herramientas computacionales, con datos confiables provistos por las fichas técnicas de los buses eléctricos, tratando así de hacerlo ajustado a la realidad.

Por supuesto, para que el modelo de selección tenga un punto de partida, decidimos recopilar en una base de datos, el mayor número de opciones de buses eléctricos, con sus respectivas fichas técnicas y datos de contacto, de tal forma que el modelo brinde una información completa.

El paso a seguir es determinar la demanda eléctrica a partir del bus escogido y las distancias recorridas. Buscamos desarrollar conocimientos que puedan ser aprovechados en otros contextos o escenarios similares, mediante la inclusión de pautas de diseño que le permitan al modelo ser flexible y replicable. Asimismo, brindará información útil para la aplicación y toma de decisiones con respecto a las energías no convencionales, dado que emplearemos la aplicación de visualizaciones que describan los resultados del modelo de manera sencilla e informativa. Finalmente, abarcaremos el cubrimiento de la energía eléctrica mediante el aprovechamiento solar, determinando la necesidad en términos de paneles solares, para poder satisfacer la energía requerida por los buses. Cabe destacar que perseguimos un desarrollo efectivo de la estimación y modelo de selección, el objetivo es que sean funcionales, cuyos resultados sean útiles y coherentes de tal forma que contribuyamos a la generación de información relevante acerca de las energías limpias.

### D. Selección de esquema

A continuación, presentamos mediante un esquema la selección final de los pasos tomados en cuenta para el desarrollo de nuestro proyecto:

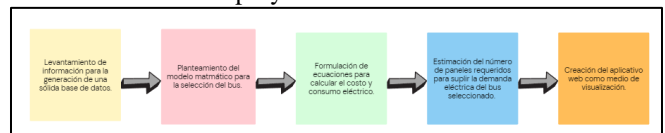


Fig. 2. Esquema desarrollo del proyecto.

### E. Diseño de detalle

El modelo en R se encuentra alimentado por una base de datos, elaboración propia, la cual consiste en un listado de 50 fabricantes de buses eléctricos que se encuentran actualmente en el mercado y la cual incluye características tales como: autonomía, tiempo de carga, capacidad de pasajeros y

capacidad de la batería, obtenidas de las fichas técnicas de los respectivos modelos de buses. También la base de datos trae consigo datos de contacto del fabricante, y fotos del modelo de bus. Cabe resaltar que, a través de la herramienta, esta de base de datos puede ser reemplazada o extendida, según lo que el usuario desee, de tal forma que no limitemos la replicabilidad de la aplicación.

Posterior a ello, para llevar a cabo el desarrollo de un modelo de selección de flota de buses eléctricos, pensamos en la necesidad de emplear un método o herramienta que nos permitiese obtener el vehículo óptimo, es decir, el que mejor se adaptara a los diferentes parámetros o necesidades específicas de las empresas de transporte. En este caso, la decisión se encuentra delimitada por variables de entrada que responden a las características de los buses mencionadas anteriormente.

Nuestro objetivo es reemplazar un bus convencional por uno eléctrico que se acople al sistema de transporte ya existente.

Una vez planteado el objetivo, se desarrolló el modelo mediante programación lineal, el cual nos permitirá encontrar la mejor alternativa de solución tomando en cuenta las distintas variables de entrada y el condicionamiento debido a las restricciones.

El modelo de selección tiene como función objetivo minimizar el costo diario de energía para alimentar el bus, de tal manera que se espera obtener el bus eléctrico que generando un menor costo pueda cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente (distancia recorrida, tiempo disponible para operación, capacidad de pasajeros). Dicha función objetivo es la siguiente:

$$C_{min} = \sum_{i=1}^{k=50} (x_i \cdot E_i \cdot CE \cdot D)$$

Las restricciones de este modelo de optimización son las siguientes:

$$D \leq A_i$$

La distancia total que recorre el bus en un día de operación debe ser menor o igual a la cantidad de kilómetros que este puede recorrer en una carga completa. Se considera esta como una de nuestras restricciones ya que para el caso de los buses eléctricos su carga no es tan rápida como la de un vehículo convencional. Un bus de este tipo, por el contrario, requiere un rango de tiempo entre 4 a 12 horas para cargarse completamente.

$$RP \leq P_i$$

El requerimiento de pasajeros que responde a la cantidad de personas que puede transportar la ruta existente o pre-diseñada debe ser menor o igual a la capacidad total de pasajeros del bus seleccionado (tomando en cuenta tanto pasajeros sentados como de pie). distancia total que recorre el bus en un día de operación debe ser menor o igual a la cantidad de kilómetros que este puede recorrer en una carga completa. Se considera esta como una de nuestras restricciones ya que para el caso de los buses eléctricos su carga no es tan rápida como la de un vehículo convencional. Un bus de este tipo, por el contrario, requiere un rango de tiempo entre 4 a 12 horas para cargarse completamente.

$$T_D \geq t_i$$

El tiempo disponible, es decir, el tiempo en el que el bus no se encuentra en operación, tiene que ser mayor o igual que su respectivo tiempo de carga.

$$\sum_{i=1}^{k=50} x_i = 1$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

Estas dos restricciones representan que nuestro modelo es binario y que se selecciona sólo un modelo de bus.

El glosario con las definiciones de las variables es el siguiente:

$C$  = Costo diario de electricidad (\$/día)

$i$  = Tipo de bus

$K$  = Número de tipos de buses

$x_i$  = Número de buses del tipo  $i$

$E_i$  = Consumo energético del bus  $i$  (kWh/km)

$CE$  = Costo de electricidad (\$/kWh)

$D$  = Distancia recorrida diariamente (km)

$A_i$  = Distancia recorrida diariamente (km)

$RP$  = Requerimiento de pasajeros (personas/bus)

$P_i$  = Capacidad de pasajeros del bus  $i$  (personas/bus)

$TD$  = Tiempo disponible diario (horas)

$t_i$  = Tiempo de carga del bus  $i$  (horas)

Sin embargo, con el fin de hacer la experiencia del usuario más sencilla, los datos de entrada que se le piden a este son diferentes a los utilizados en el modelo matemático.

Para lograr esto, los datos de entrada que recibe la aplicación por parte del usuario son preprocesados para ser compatibles con el modelo. A continuación, se encuentra una imagen de los campos de entrada de la aplicación:

Fig. 3. Datos de entrada del aplicativo web.

Por otro lado, los datos de entrada de la aplicación son los siguientes:

$d$  = Distancia de la ruta(km)

$T_R$  = Tiempo de recorrido(min)

$T_R$  = Tiempo de recorrido(min)

$RP$  = Requerimiento de pasajeros (personas/bus)

$LV$  = ¿Esta en operación el bus de lunes a viernes?  
(Verdadero o Falso)

$T_{LV}$  = Tiempo operativo de lunes a viernes  
(horas/día)

$SD$  =  
¿Esta en operación el bus de sábado a domingo?  
(Verdadero o Falso)

$T_{SD}$  = Tiempo operativo de sábado a domingo  
(horas/día)

$T_G$  = Tiempo de transporte al garaje(minutos)

$N$  = Número de buses

$PS$  = ¿Se planea usar paneles solares?  
(Verdadero o Falso) \*

$P$  = Potencia de panel solar(W) \*

\*Los últimos 2 valores de entrada son utilizados para los cálculos referentes a paneles solar y no son utilizados para el modelo matemático

El preprocesamiento aplicado a estas variables es el siguiente:

$T_{op} = \max\{T_{LV}, T_{SD}\} = \text{Tiempo Operativo(horas)}$

$$D = \frac{d}{\left(\frac{T_{op}}{T_R}\right)}$$

$$T_D = 24 - T_{op} - \left(\frac{T_G}{60}\right)$$

Para la presentación de los resultados se hacen los siguientes cálculos:

$$D_{LV} = d \cdot \left(\frac{T_{LV}}{T_R}\right) \\ = \text{Distancia recorrida lunes a viernes(km/día)}$$

$$D_{SD} = d \cdot \left(\frac{T_{SD}}{T_R}\right) \\ = \text{Distancia recorrida sábado a domingo(km/día)}$$

$$D_w = (D_{LV} \cdot 5) + (D_{SD} \cdot 2) \\ = \text{Distancia recorrida semanal(km)}$$

Tras obtener el bus seleccionado a partir del modelo matemático descrito anteriormente, se calcula el consumo eléctrico diario y mensual. Este se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Consumo electrico diario(kWh/dia)} = x_i \cdot E_i \cdot D$$

Asimismo, se utiliza el siguiente producto para obtener el consumo eléctrico mensual y costo mensual de electricidad:

$$\text{Consumo electrico mensual(kWh/mes)} \\ = (D_w \cdot x_i \cdot E_i) + (D_{LV} \cdot 2) *$$

Costo mensual de electricidad(\$/mes)

$$= \text{Consumo electrico mensual} \cdot CE$$

\*Esta fórmula asume que el mes en cuestión es de 30 días, los cuales son 4 semanas completas (5 días de semana, y 2 días de fin de semana) y 2 días de semana.

Por otro lado, como fuente de generación de la energía para la operación de estos buses se busca aprovechar el recurso solar. Es así que teniendo en cuenta factores como disponibilidad de información, reconocimiento en su implementación, facilidad de instalación y oferta local, seleccionamos los paneles solares como método de generación de energía.

Con el fin de estimar el número de paneles solares requeridos en un determinado mes se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Número de paneles solares requerido(panel/mes)}}{\text{Consumo eléctrico mensual(kWh/mes)}} \\ = \frac{\text{Horas Solar Pico promedio mensual(hora/mes)} \cdot 0.8 \cdot \text{Potencia panel (kW/panel)}}{1 \text{ kWh/m}^2}$$

Aquí se utilizan las Horas Solar Pico, o Peak Sunlight Hours(PSH) para estimar la energía generada por un panel solar con la potencia indicada por el usuario. Las Horas Solar Pico son las horas del día en las que la irradiación solar alcanza los 1000W/m<sup>2</sup> (1kW/m<sup>2</sup>)[3]. Las Horas Solar Pico se ven multiplicadas por 0.8 ya que el estándar de nivel de rendimiento para los paneles solares es de 80%, puesto que se tiene en cuenta que se puede llegar a tener un 20% de pérdidas en el sistema, provocadas por factores como suciedad, mala orientación, inconvenientes en la instalación, latitud, condiciones climáticas, entre otros.[4]

Para el cálculo de las Horas Solar Pico en Barranquilla, Atlántico, Colombia (Ciudad objeto del estudio) se utiliza el “Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia” publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)[1], siendo este el ente gubernamental colombiano que se encarga de estos pronósticos; este documento contiene la irradiación solar promedio(kWh/día/m<sup>2</sup>) por mes, utilizando la siguiente formula se obtienen las Horas Solar Pico promedio mensual:

$$\text{Horas Solar Pico promedio mensual(hora/mes)} \\ = \frac{\text{Irradiación solar promedio(kWh/día} \cdot \text{m}^2)}{1 \text{ kW/m}^2} \cdot 30 \text{ días/mes}$$

#### IV. CASO DE ESTUDIO

Para comprobar la funcionalidad de la herramienta, decidimos enfocarnos en un caso de estudio específico, de tal manera que, mediante el uso de datos o información real, brindada directamente por la empresa, rectificamos la exactitud y efectividad de la aplicación.

Teniendo en cuenta que actualmente en la ciudad de Barranquilla existen dos alternativas de transporte público masivo. Los buses urbanos y el Transmetro. La selección de la ruta de buses convencionales a reemplazar se delimitó inicialmente a las rutas de Transmetro, debido a su organización, sectorización, menor número de paradas, carriles exclusivos y la estructura de recolección de datos. De hecho, serán ellos quienes nos estarán provisionando de la información asociada a las rutas ya existentes, de tal forma que podamos realizar una selección de aquella que mejor se adecue a la implementación de buses eléctricos, teniendo en cuenta sus características, cómo número de paradas, distancias

de recorrido, tipo de calzada por la que se moviliza, entre otros. Aquí es importante mencionar que hay que prestar atención a estas características, dado que el rango y los largos tiempos de carga son una limitante para los buses eléctricos.

Se decidió elegir la ruta troncal S10, los parámetros de esta ruta son los siguientes:

$$d = 12$$

$$T_R = 38$$

$$RP = 160$$

$$T_{LV} = 15$$

$$T_{SD} = 11$$

$$T_G = 6$$

Asimismo, con el objetivo de obtener también la información asociada a el cubrimiento del requerimiento de electricidad por medio de los paneles solares, hicimos una búsqueda para seleccionar nuestro proveedor, de acuerdo a nuestras necesidades, y luego de revisar e investigar las diferentes empresas fabricantes de este tipo de producto, y basándonos en factores tales como: calidad, garantía, precio, reconocimiento, entre otros, seleccionamos la empresa colombiana Era Solar como nuestro principal proveedor. puesto que cuenta con un excelente posicionamiento y reconocimiento en el mercado, después de todo, hace parte activa del PV cycle y logró su registro en la ISO 9001.

Para la selección del tipo de panel que mejor se adecuaba a nuestro proyecto, analizamos las diferentes clases de paneles. Primeramente, se investigaron los paneles monocristalinos, los cuales como se explica en [5], tienen un calentamiento más lento, su fabricación es más compleja y suelen ser más eficientes. Por otro lado, encontramos los tipos policristalinos, también explicados en [5], que, a diferencia de los primeros, calientan de manera más rápida, su fabricación es más sencilla, sus costos más bajos, pero difieren un poco en cuanto a la eficiencia. Considerando todo lo mencionado anteriormente y tomando en cuenta el hecho de que el panel va a funcionar en un clima cálido, por lo que se necesita que el proceso de calentamiento sea rápido, para sacar un mayor provecho y para no encontrar limitaciones en cuanto al sobrecalentamiento, optamos por elegir el Panel de tipo 304W 24v policristalino, cuya vida útil es de 25 años, dimensiones de 1956x992x40.

## V. RESULTADOS

Luego de recopilar toda la información pertinente, se procedió a ingresar los datos de la Ruta S10 y del panel solar seleccionado, el Panel de tipo 304W 24v policristalino, como los datos de entrada de la aplicación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:



Fig. 4. Resultados aplicación web.

La herramienta es capaz de presentar la imagen del modelo bus seleccionado y a su vez el enlace directo a la página oficial del fabricante.

## VI. ANÁLISIS DE IMPACTO

### A. Impacto social

La herramienta desarrollada facilita la selección de los buses al automatizar el proceso de investigación y recolección de datos, reduciendo el tiempo dedicado a estas actividades. Esto repercute en la comunidad porque serán ellos quienes se beneficiarán del acercamiento a una movilidad sostenible.

El objetivo de este proyecto es que el sector de transporte público tenga acceso a la información para poner en marcha la aplicación de energías renovables.

### B. Impacto económico

El aplicativo web desarrollado repercute económicamente en términos de reducción de costos. Al ser una herramienta que automatiza procesos, genera una reducción de costos asociados a tiempos de investigación, búsqueda de proveedores y fabricantes, estimaciones y demás requerimientos para tener en cuenta para seleccionar un bus que satisfaga las necesidades del cliente, generando así un impacto económico positivo.

Por otro lado, el hosting del aplicativo web podría suponer un costo a incurrir, dependiendo de la opción seleccionada, según el funcionamiento requerido.

## VII. CONCLUSIONES

La insuficiente información acerca de las energías renovables en el sector de transporte público es una de las principales razones por las cuales este sector no ha logrado incursionar en la movilidad urbana sostenible. Para

contrarrestar esta problemática, hemos diseñado un aplicativo web con el fin de generar información asociada a la transición a buses eléctricos alimentados con energía fotovoltaica, el cual ofrece datos como: modelo de bus eléctrico que cumple con los requerimientos de una ruta convencional, la demanda eléctrica con sus respectivos costos y el número de paneles solares necesarios para suplir dicha demanda.

Se recopiló información a través de las fichas técnicas de 50 modelos de buses eléctricos para conformar así una base de datos sólida capaz de alimentar nuestro modelo de selección.

El modelo fue desarrollado desde cero con el objetivo de minimizar los costos de energía eléctrica generados por el funcionamiento de los buses, incluyendo las restricciones apropiadas para asegurarnos de que el bus seleccionado sea el más indicado para sustituir la ruta convencional.

Dentro de las pautas de diseño del proyecto consideramos la importancia de hacer una herramienta replicable en otros escenarios, por lo cual una de las características del aplicativo web es su flexibilidad, la cual consiste en no limitar los datos de entrada, y a su vez permitir al usuario añadir o sustituir información en la base de datos. De igual manera, el diseño se enfocó en la simplicidad de uso para el usuario, utilizando múltiples cálculos de preprocesamiento de los datos de entrada para asegurarse de que fuesen lo más sencillos de obtener posible.

Como parte de este esfuerzo por replicabilidad se adoptó el modelo "open source" para esta aplicación, esto significa que todo el código y la documentación utilizada para este proyecto está disponible públicamente para que cualquier persona sea capaz de modificarlo para sus necesidades y/o mejorarlo en el futuro.

Para futuros proyectos es recomendable ajustar los cálculos de consumo eléctrico mensual a estimaciones que abarquen el número real de días de semana y días de fin de semana contenidos en cada mes dependiendo del año en cuestión.

Se recomienda también buscar otras alternativas para el hosting del aplicativo web dado que Shiny en su versión gratuita limita el tiempo de funcionamiento y no permite el uso de mejores medidas de seguridad informática.

En una línea futura se podría considerar el factor costo, que en nuestro caso no pudimos incluir debido a la dificultad de acceso a dicha información, la cual no es provista por los distintos fabricantes en los sitios web.

Finalmente, se espera que al hacer pública nuestra herramienta, estemos facilitando y brindando una fuente de información que sirva como base para la toma de decisiones acerca de la implementación de las energías limpias y/o renovables en el transporte público urbano.

## REFERENCES

- [1] IDEAM. "Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia 2018". Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF\\_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260)
- [2] N. Barrios, "Contaminación del aire y movilidad urbana", Heraldo, 14 de marzo de 2019. Accedido el 20 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/contaminacion-del-aire-y-movilidad-urbana-607432>
- [3] D. F. A. Riza and S. I. Gilani, "Standalone Photovoltaic System Sizing using Peak Sun Hour Method and Evaluation by TRNSYS Simulation", International Journal Of Renewable Energy Research, vol. 4, no. 1, pp. 109-114, Mar. 2014.
- [4] A. Carrasco. "Cómo maximizar el rendimiento de las placas solares". Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/rendimiento-placas-solares/#:~:text=Las%20p%C3%A9rdidas%20del%20sistema,-Las%20p%C3%A9rdidas%20generadas&text=Se%20puede%20llegar%20a%20producir,siendo%20un%20factor%20bastante%20perjudicial> (accedido el 16 de noviembre de 2022).
- [5] "Diferencias entre silicio monocristalino y multicristalino o policristalino". Autosolar | La Tienda de la Energía Solar. <https://autosolar.es/placas-fotovoltaicas/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino> (accedido el 20 de noviembre de 2022).