

# 12

## PROYECTO ACADÉMICO DE ELECTROMOVILIDAD NETA CERO PARA DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, A TRAVÉS DE ABP

### ACADEMIC PROJECT OF NET ZERO ELECTROMOBILITY FOR TEACHERS OF THE CATHOLIC UNIVERSITY OF CUENCA THROUGH PBL

Edison Adrián Sotamba-Chimbo<sup>1</sup>

E-mail: [easotambac95@est.ucacue.edu.ec](mailto:easotambac95@est.ucacue.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0066-0450>

Juan Carlos Cobos-Torres<sup>1</sup>

E-mail: [juan.cobos@ucacue.edu.ec](mailto:juan.cobos@ucacue.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8153-8379>

Pablo Andrés Buestán-Andrade<sup>1</sup>

E-mail: [pablo.buestan@ucacue.edu.ec](mailto:pablo.buestan@ucacue.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9210-1591>

Gonzalo Iván Andrade-Mena<sup>1</sup>

E-mail: [gonzaloandrade@ucacue.edu.ec](mailto:gonzaloandrade@ucacue.edu.ec)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2777-4260>

<sup>1</sup>Universidad Católica de Cuenca. Ecuador.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Sotamba-Chimbo, E. A., Cobos-Torres, J. C. Buestán-Andrade, P. A., & Andrade-Mena, G. I. (2023). Proyecto académico de electromovilidad neta cero para docentes de la universidad católica de cuenca, a través de ABP. *Revista Conrado, 19(91)*, 109-124.

#### RESUMEN

El interés, la expectativa y una actitud positiva hacia el aprendizaje, son competencias que el docente debe de fomentar a los estudiantes en el mundo académico. Las metodologías de enseñanza y aprendizaje forman parte de lo que se hoy se conoce como la innovación académica. El aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una técnica muy conocida por las características propias, siendo la más destacada la necesidad de trabajar en equipo. En este sentido, se ha propuesto diferentes proyectos a los estudiantes del octavo ciclo de la carrera de Ingeniería Eléctrica aplicando la metodología ABP. Uno de los trabajos realizados tiene como objetivo la mejora del sistema de carga fotovoltaico y ecualización de carga de baterías de un vehículo eléctrico (VE) para aumentar la autonomía energética, mediante el desarrollo de un sistema embebido con sensores, actuadores y microcontroladores para docentes de la Universidad. Los resultados obtenidos por los estudiantes son presentados en el presente documento y expresan que el panel solar junto con una carga inicial del VE permite una autonomía de 15 km diarios de recorrido, siempre y cuando el VE permanezca estacionado y recargándose durante la jornada laboral del Docente. La implementación de esta técnica de aprendizaje permitió a los estudiantes acoplarse a problemas cotidianos que suceden en el entorno laboral o incluso personal, obteniendo resultados excelentes en la aplicación de contenidos curriculares transversales en materias como medio ambiente, energías renovables, microcontroladores, robótica, potencia, circuitos digitales y analógicos.

#### Palabras clave:

ABP, energía neta cero, panel fotovoltaico, energía solar, vehículo eléctrico.

#### ABSTRACT

The interest, the expectation and a positive attitude towards learning, are competences that the teacher must promote to the students in the academic world. Teaching and learning methodologies are part of what is known today as academic innovation. Project-based learning (PBL) is a well-known technique due to its own characteristics, the most prominent being the need to work as a team. In this sense, different projects have been proposed to the students of the eighth cycle of the Electrical Engineering career applying the ABP methodology. One of the works carried out has the objective of improving the photovoltaic charging system and battery charge equalization of an electric vehicle (EV) to increase energy autonomy, through the development of an embedded system with sensors, actuators and microcontrollers for teachers of University. The results obtained by the students are presented in this document and express that the solar panel together with an initial charge of the EV allows an autonomy of 15 km per day, as long as the EV remains parked and recharging during the teacher's working day. The implementation of this learning technique allowed students to engage in everyday problems that occur in the work or even personal environment, obtaining excellent results in the application of cross-curricular content in subjects such as the environment, renewable energy, microcontrollers, robotics, power, digital and analog circuits.

#### Keywords:

ABP, net zero energy, photovoltaic panel, solar energy, electric vehicle.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la educación superior en la República del Ecuador ha sido parte de un fuerte cambio, estableciendo nuevos modelos de enseñanza y suprimiendo los métodos tradicionales. Ante este nuevo escenario, la metodología de ABP funciona como una herramienta eficaz para la adquisición de conocimientos y competencias que demanda diariamente la sociedad a los estudiantes universitarios.

Autores como Barows & Tamblyn, definieron en 1980 al ABP como *“el aprendizaje que resulta del proceso de trabajar hacia la comprensión de la resolución de un problema. El problema se encuentra primero en el proceso de aprendizaje”* (Toledo & Sánchez, 2018). Estudios de Fernández (2017), indican la satisfacción del alumnado universitario con la implementación de la metodología ABP, reportando satisfacción, un mayor interés y menor dificultad de realizar actividades universitarias. De igual manera, Ausín et al. (2016), analizaron la experiencia de 52 estudiantes entre los 18 y los 39 años al utilizar ABP en el proceso de aprendizaje; permitiendo desarrollar habilidades, destrezas, conocimientos teóricos y prácticos como medio de creación de las actividades propuestas.

La carrera de Ingeniería Eléctrica demanda innovación y metodologías actuales para lograr un correcto aprendizaje. Aplicar ABP permite a los estudiantes involucrarse directamente con sensores, actuadores construcción de prototipos, simulaciones, entre otros, y paralelamente desarrollar habilidades como la expresión oral y escrita. El trabajo realizado por Collazos et al. (2016), consiste en el diseño y la construcción de prototipos experimentales para estudiantes de varias carreras de ingeniería eléctrica aplicando ABP. Como resultado se tiene que, la metodología de enseñanza basado en proyectos, estimula la expresión escrita, la capacidad de emitir conclusiones, investigar más acerca del tema, trabajo en equipo y resolución de problemas (Zúñiga & Mora, 2017).

De igual manera, hoy en día un tema que es de gran interés para la industria y la academia es tratar de mitigar la contaminación ambiental (Chatkin et al., 2022). Una de las alternativas planteadas como solución, es la fabricación y producción de vehículos eléctricos, evitando así la combustión de fósiles y aprovechando al sol como fuente de energía inagotable.

Estudios (Karasoy & Akçay, 2019; Destek & Aslan, 2020; Pata, 2021), han revelado que la huella de carbono que deja la energía proveniente de energías renovables (como el sol), es la mitad que genera la combustión de un vehículo tradicional. La generación de energía mediante el sol, es un proceso simple pero potente; mediante

celdas o paneles solares la energía solar es transformada en energía eléctrica. La cual, puede ser almacenada en baterías o directamente administrada al VE (Haba, 2019). Otro concepto muy importante en el ámbito de la energía solar y el VE es la denominada fotolinera. Es una estación de carga de VE, considerado como dispositivos de gran expectativa para el desarrollo y la producción (Amry et al., 2022).

Los avances de la tecnología han permitido desarrollar nuevas formas de movilización, una de ellas mediante el VE, un medio de transporte sostenible, es cual es utilizado ampliamente en países del primer mundo (Chatkin et al., 2022); en este caso puntual, para la movilidad de los docentes de la Universidad Católica de Cuenca, repercutiendo positivamente en la reducción de la contaminación en la ciudad de Cuenca. En el presente proyecto los alumnos investigaron y construyeron un sistema solar fotovoltaico, que sea utilizable para la movilidad de un vehículo eléctrico (VE). El diseño y el cálculo del sistema mencionado es capaz de absorber la mayor cantidad de radiación solar, generar la suficiente cantidad de energía eléctrica y lograr mantener con carga al VE.

Con estos antecedentes, se ha instalado en el VE disponible en la Unidad Académica de Posgrado un panel solar, que permite recargar las baterías del VE a medida que este, está expuesto a la radiación solar. La idea principal de esta implementación corresponde a que únicamente un 15% del día (alrededor de 2 horas) un vehículo tradicional es utilizado para el transporte persona, permaneciendo estacionado la mayor parte del día. De esta manera, al permanecer detenido el VE se puede aprovechar la luz solar para la recarga de baterías.

Otra justificación para estudiar el área de la generación eléctrica solar y los beneficios al ambiente es el cambio de perspectiva tomado por las industrias automotrices, tomando como alternativa las fuentes energéticas renovables y evitando la combustión de fósiles, debido al alto grado de contaminación (Pata, 2021). Por ello, se está dando soluciones con los VE, vehículos híbridos y con otros tipos de alimentación para la movilidad de dicho sistema de transporte. Los nuevos sistemas de los vehículos eléctricos están promovidos por la necesidad de la economía y para la reducción de la polución. Por último, para poder controlar los diferentes componentes del vehículo se necesita una cantidad de energía eléctrica que sea una fuente fiable e inagotable (Gopal et al., 2018; Sahoo et al., 2020; Xing et al., 2021).

Con el prototipo, se pretende demostrar que es posible conseguir una movilidad con autonomía total (movilidad Cero), mediante una recarga energética solar para el

funcionamiento de un automóvil eléctrico, utilizando paneles solares, destinado al transporte o uso personal de docentes de la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), y de esta manera tener un medio de transporte totalmente ecológico para el personal académico de la Universidad desde sus domicilios hasta sus dependencias de trabajo. Todo esto diseñado y construido por alumnos del octavo ciclo de la carrera de ingeniería eléctrica, como proyecto académico bajo la modalidad de ABPs.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es exploratoria en el sentido que los alumnos buscaron una solución a un estudio de caso (movilidad Neta Cero para docentes de su universidad); por lo mismo se presenta los resultados de su investigación. Es novedoso ver, como los alumnos se apersonaron en la búsqueda de soluciones y la mejor de ellas se presenta en este documento.

El enfoque utilizado para el proyecto de los alumnos es descriptivo – experimenta (como actividad académica bajo la modalidad del ABP), ya que se pretende demostrar la posibilidad de utilizar el VE alimentado mediante un panel solar, como medio de transporte para el personal de la UCACUE desde sus domicilios hasta sus lugares de trabajo, sin necesidad de realizar recargas eléctricas mediante la red eléctrica. El vehículo consta de un sistema ecualización de carga, cuya energía proviene del panel solar instalado en el techo del VE. Así, se logró demostrar que es factible realizar electromovilidad Neta Cero, desde los domicilios hasta las dependencias y viceversa del personal docente.

La investigación posee un enfoque cuantitativo que permite recolectar y analizar la información para la obtención de resultados. Debido a la naturaleza de la investigación, se consideró a los profesores de la Universidad Católica de Cuenca como universo de estudio. Se seleccionaron 390 profesores.

Para recolectar la información mediante una técnica retrospectiva se obtuvo información sobre los profesores de la Universidad, entre estas se tiene:

- Horarios de trabajo.
- Dirección de domicilio.
- Dirección o dependencia de trabajo.

Posteriormente, con esta información mediante las herramientas Google Earth, y otras aplicaciones informáticas, se geo referencio cada uno de los domicilios y dependencias de los docentes y se realizó el trazado de las rutas de movilización de las mismas. El detalle se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Herramientas informáticas para la realización del trazado de las ubicaciones de los docentes de la UCACUE.

Esta información georreferenciada y de las rutas es de suma importancia para poder analizar la distancia, pendiente y lugares de tráfico que podrían alterar el consumo promedio del VE.

Se utilizó varios gestores de información científica de calidad como SCOPUS, Web of Science, entre otras fuentes bibliográficas; para entender los conceptos bases y específicos sobre movilidad Neta Cero y su implementación en el transporte para el personal de la UCACUE. Con este análisis, se fundamentaron la metodología, las fases de desarrollo y se elaboró un marco teórico que sustente el tema investigativo.

Se ha visto necesario hacer una investigación en el tema de electromovilidad con Energía Neta Cero, para los Docentes de la Matriz (UCACUE). En el siguiente proyecto se utilizarán las distintas aplicaciones digitales de georreferenciación, para obtener con precisión la ubicación de la vivienda de cada docente de la Universidad Católica de Cuenca, así como los trayectos que realizan cada día para llegar has su destino. Ver Figura 2.

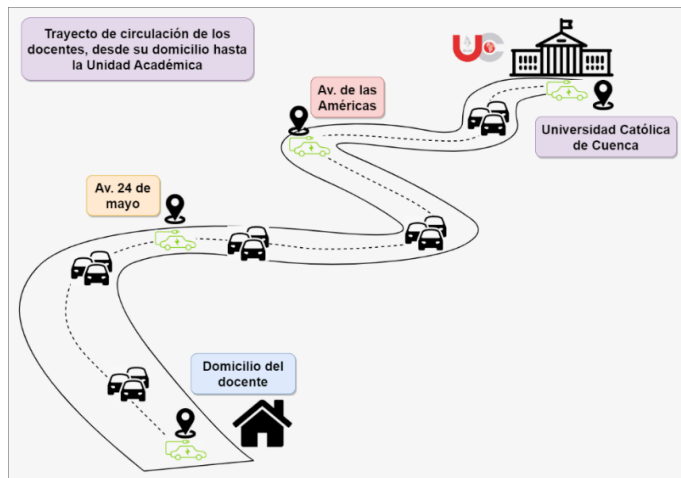


Figura 2. Representación de ruta domicilio docentes – Universidad y viceversa a realizar con el VE.

En la Figura 3, se presenta un esquema con los componentes que se encuentran instalados al VE pertenecientes a otra tesis en fase de desarrollo titulada “Sistema móvil de generación solar – eólico, para vehículos eléctricos con ecualizador de carga”, divididos en tres secciones.

**Sección 1:** Se encuentra el sistema de generación conformado por el panel solar, el regulador de carga y el módulo relé de 10 canales (existen 2 módulos, 1 de 8 canales y otro de 2 canales). Mediante estos equipos se transforma la energía solar en energía eléctrica, el panel solar 350W entrega un voltaje de 47.9V, el cual es regulado a 12V y controlado mediante el controlador de carga, para posteriormente almacenar esta energía en el banco de baterías del VE (5 baterías conectadas en serie). A esta sección, se le conocerá como la etapa de potencia.

**Sección 2:** Está conformado por el sistema de protecciones para la etapa de potencia (cuenta con 6 fusibles de 40A a 32V c/u) y la regulación de voltaje para la alimentación al microcontrolador Arduino Mega 2560 (booster CC a CC de 32V a 5V), el cual garantiza una alimentación constante y adecuada.

**Sección 3:** Está conformado por los sensores y actuadores: un módulo GPS para la georreferenciación y ubicación del VE, un módulo inercial IMU para determinar las aceleraciones X, Y, Z y velocidades angulares en los tres ejes y un módulo SD para el almacenamiento de información.

El sistema implementado previamente en el VE, analiza el estado de carga y descarga de las baterías, identificando la batería que tiene mayor porcentaje de descarga, mediante los puertos analógicos del Arduino. Las señales eléctricas llegan de manera individual desde cada batería

a través de un divisor de voltaje, que permite adecuar los voltajes de las baterías al voltaje máximo soportado por el ADC del microcontrolador (5 V). El microcontrolador al identificar el porcentaje de carga de las baterías, prioriza la carga de la batería con mayor descarga hasta estabilizar todo el banco de baterías con el mismo nivel de voltaje.

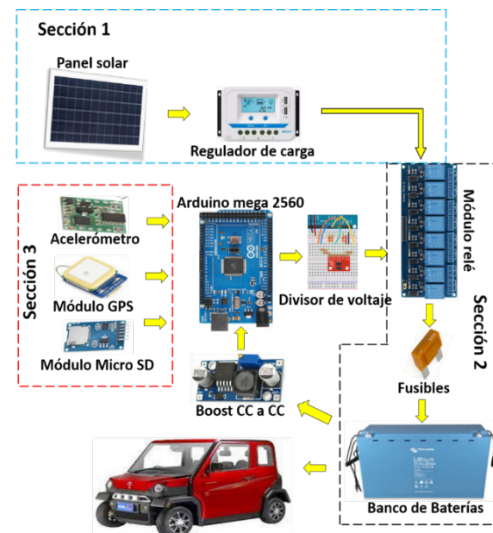


Figura 3. Componentes que se encontraron en el VE.

Para potenciar la eficiencia de control de carga y descarga del banco de baterías, se ha realizado mejoras al sistema de carga del VE de la Unidad Académica de Posgrados. Primero, se ha dado mantenimiento mecánico al vehículo para realizar los recorridos y pruebas. Así mismo, se generan los sistemas de adquisición de datos en tiempo real de carga del panel fotovoltaico y del banco de baterías del VE (detallado posteriormente). De esta manera, se puede comprobar la eficiencia del método de carga con energía fotovoltaica, si la carga diaria (aproximadamente 8 horas) realizada mientras los docentes se encuentran laborando, es suficiente para su movilización, desde sus hogares hasta su trabajo y viceversa. También, se comprueba la eficiencia y la duración de la carga de las baterías en distintas rutas y condiciones.

Para la obtención de los datos en tiempo real, se puede conectar a través del puerto serial o en su caso para un análisis posterior descargarlos desde la micro memoria SD. Valores como el consumo de corriente y el voltaje de cada batería, inclinación del vehículo, corriente y voltaje generados por el panel fotovoltaico están presentes en este sistema.

En la Figura 4 se encuentra un esquema con los componentes que se mejoraron del sistema de carga del VE, los cuales están divididos en cuatro secciones.

Sección 1: Conformado por un sistema de generación a través del panel solar, el cual está conectado al regulador de carga y posteriormente al banco de baterías. Se integró un sistema de medición de corriente mediante una resistencia Shunt (75 mV a 50 A). La medida de voltaje de esta resistencia que es una medida indirecta de la corriente generada por el panel fotovoltaico, se transforma a una señal digital mediante el ADC modelo ADS 1115. Esta alternativa fue considerada, ya que la resistencia shunt entrega un voltaje de valor muy pequeño (en este caso la corriente máxima del panel es de 8.93 A, lo que equivale a un voltaje de 0.6697 V). El puerto ADC del microcontrolador tiene una resolución de 10 bits en un voltaje entre 0 y 5V, mientras que el ADS 1115 tiene una resolución de 16 bits en un voltaje programable en 7 rangos (0.256V ~ + 0.256V, -0.512V ~ + 0.512V, -1.024V ~ + 1.024V, -2.048V ~ + 2.048V, -4.096V ~ + 4.096 V, -6.144V ~ + 6.144V); se selecciona el rango de ~ + 1.024V. La señal eléctrica convertida a digital es leída mediante un Arduino nano y a su vez enviada mediante una comunicación serie Bluetooth al módulo central, utilizando un módulo Bluetooth HC-05. La alimentación de toda esta sección se realiza a través de un Power Bank, ya que es imposible igualar los potenciales entre el panel solar, el regulador y el VE. Esto debido a que el regulador de voltaje iguala los potenciales desde el positivo y no desde el negativo.

Sección 2: Se encuentra el sistema de protecciones y sistema de almacenamiento, que como ya se mencionó, está conformado por un banco de 5 baterías conectadas en serie. Cada batería es cargada de manera individual a través de un módulo relé de 10 canales que se activan o desactivan por pares de acuerdo al nivel de voltaje de cada batería, teniendo como prioridad cargar la batería que tiene mayor porcentaje de descarga.

Sección 3: Se añade un módulo Bluetooth HC-05 el cual recibe la información de la corriente del panel solar y la envía a través de una conexión serie física I2C al Arduino Mega 2560.

Sección 4: Conformado por un sistema de medición de corriente total del VE, el cable de alimentación general proveniente de las cinco baterías se interconecta a través de una resistencia Shunt (75 mV a 100 A). La medida de voltaje de esta resistencia que es una medida indirecta de la corriente consumida por todo el VE, se transforma a una señal digital mediante otro ADC modelo ADS 1115, el cual envía la información al Arduino Mega 2560.

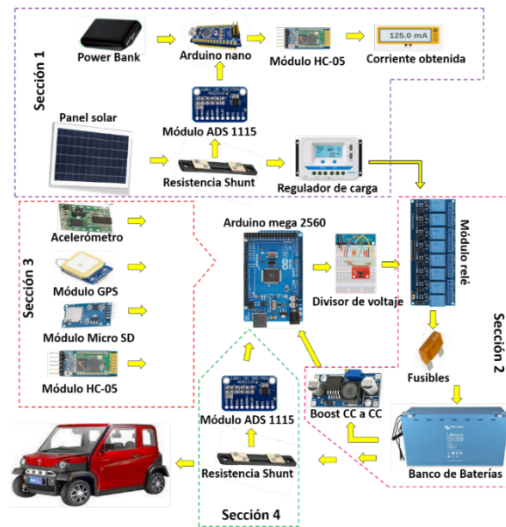


Figura 4. Componentes del circuito de carga mediante el panel fotovoltaico.

Como primer paso, se encontró la información georreferenciada de cada vivienda y la dependencia de los docentes. Con estas, se establece las rutas, las cuales el VE recorre durante un mes (se trabajó durante el mes de mayo del 2022, se eligió este ya que es el mes con menor irradiación solar promedio). Con las rutas trazadas se define las rutas con mayor y menor pendiente, con menor y mayor distancia, para escoger las rutas a realizarse con el VE para poder hacer el recorrido.

Para determinar los datos de nuestro caso de estudio, se ha tomado como universo a todos los docentes de la Universidad Católica de Cuenca dividiendo en grupos por facultades, mediante la Tabla 1, se establece el número de docentes que conforman cada carrera, para realizar el recorrido desde sus domicilios hacia sus respectivas Unidades Académicas, para determinar si el VE es autosustentable mediante la carga con el panel solar (Figura 5).

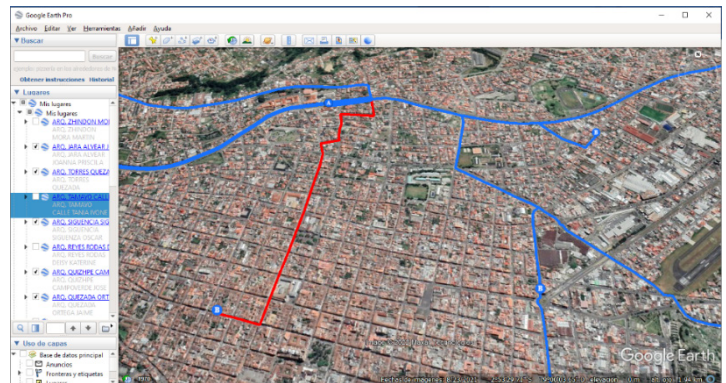


Figura 5. Rutas de los docentes.

Tabla 1. Análisis de cuantos docentes existen en cada carrera de la UCACUE.

Carreras de la Universidad Católica de Cuenca	Número de docentes
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	11
Arquitectura	21
Ingeniería Civil	13
Ingeniería Ambiental	7
Arquitectura y Urbanismo	2
Otras carreras	6
Medicina	70
Enfermería	23
Odontología	62
Bioquímica y farmacia	96
Psicología Clínica	21
Total, de docentes	332

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2, se ha definido los estratos de cada carrera que son evaluadas, obteniendo un promedio proporcional de la muestra para realizar los recorridos con el VE. Se ha definido y se ha separado cuantos sujetos existen en cada una de las carreras, dando de forma global 1123 docentes en la Universidad Católica, matriz. Para ello, se ha elaborado los siguientes cálculos con la fórmula de la población que se detalló en el capítulo anterior. Se determinó un valor de 332 docentes como una muestra para la realización del trazado de las rutas.

Tabla 2. Análisis de cuantas rutas se realizan mediante la fórmula del muestreo.

Resolución de ejercicio mediante la fórmula del muestreo		
Nivel de confianza	N.C	0,91
Proporción de éxito	P	0,5
Proporción de fracaso	Q	0,5
Cantidad de sujetos de la población	N	1123
Error	E	0,034
Valor de la muestra	N	332
Número total del muestreo de los docentes de la Universidad Católica, matriz	332 (Docentes UCACUE)	
Identificación de docentes de la (UCACUE) para la muestra		
Estrato	Identificación	Nº sujetos en el estrato
1	Ingeniería Eléctrica Y Electrónica	18
2	Arquitectura	24
3	Ingeniería Civil	17

4	Ingeniería Ambiental	7
5	Arquitectura y Urbanismo	2
6	Otras carreras	6
7	Medicina	106
8	Enfermería	26
9	Odontología	71
10	Bioquímica y Farmacia	18
11	Psicología Clínica	37
TOTAL		1123

Mediante una solicitud al Departamento de Talento Humano de la Universidad Católica de Cuenca, se pudo obtener las diferentes direcciones de los docentes de la Universidad, para con estas graficar y analizar las posibles rutas para el recorrido con el VE.

Mediante la aplicación de Google Maps, se han colocado todas las rutas consideradas. En la Figura 6, se indican los trayectos de los docentes de la Universidad Católica de Cuenca las cuales podrían ser recorridas por el VE, para recopilar la información necesaria. En la parte inferior de la Ilustración 7, se detalla la ruta que realiza el Ing. Juan Cobos. Se observa los siguientes parámetros: una elevación máxima de 2604 m (punto de partida), elevación media 2563 m y una elevación mínima de 2536 m sobre el nivel del mar (punto de finalización). No hay que olvidar, que estos puntos se invertirán para el caso del retorno del Docente a su domicilio.

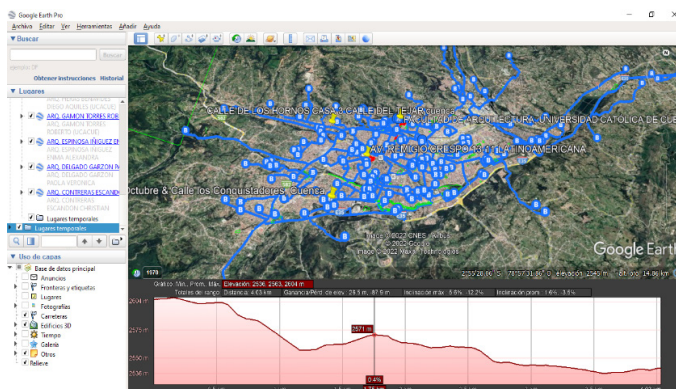


Figura 6. Rutas designadas para el recorrido con el VE.

En la Figura 7, se puede ver la gráfica obtenida con sus valores de distancia y la altura, lo cual permite analizar el nivel de inclinación de la ruta mencionada o seleccionada. De esta manera, se puede considerar en los trayectos los lugares con mayor consumo y menor consumo energético del VE.

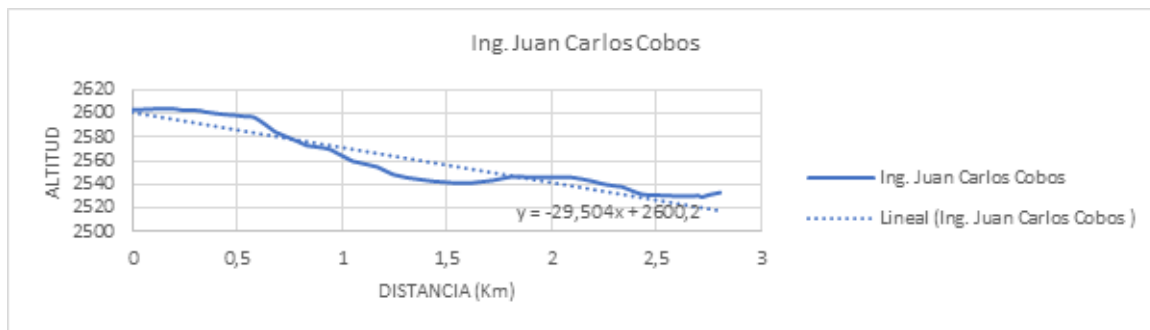


Figura 7. Ruta graficada, se representa la distancia y ecuación de la línea de tendencia.

A continuación, en la Tabla 3 se presenta un resumen de todas las rutas donde se puede apreciar la distancia e inclinación máxima, media y mínima.

Tabla 3. Distancias Máximas, Mínimas, Cortas e Inclinación de todas las distancias.

Carrera	Distancia	Km	Inclinación de la ruta Máxima, Media y Mínima
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	Máxima	6,09	5,43
	Media	4,11	2,71
	Mínima	1,43	42,15
Ingeniería Civil	Máxima	14,15	13,06
	Media	5,78	11,99
	Mínima	1,04	33,43
Ingeniería Ambiental	Máxima	4,81	27,75
	Media	3,68	18,35
	Mínima	1,36	35,95
Arquitectura	Máxima	7,57	14,31
	Media	5,25	12,93
	Mínima	2,01	44,44
Arquitectura y Urbanismo	Máxima	6,55	9,54
	Mínima	2,44	24,30
Medicina	Máxima	14,71	12,36
	Media	4,51	2,73
	Mínima	0,66	16,94
Enfermería	Máxima	16,72	13,56
	Media	8,14	27,73
	Mínima	1,22	22,82
Odontología	Máxima	14,72	28,35
	Media	4,95	18,30
	Mínima	0,57	22,18
Bioquímica y Farmacia	Máxima	10,92	19,17
	Media	4,98	43,99
	Mínima	0,72	47,85
Psicología Clínica	Máxima	9,28	34,03
	Media	4,72	44,77
	Mínima	1,42	28,79

Se ha seleccionado 3 rutas por cada carrera de la Universidad Católica de Cuenca las cuales representan a una distancia máxima, media y corta. Así mismo, se ha representado la inclinación que se encuentra en cada ruta seleccionada. Mediante el análisis de las distancias obtenidas se realiza los recorridos con los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, las cuales consta con características especiales en sus rutas, como no tener distancias mayores a los 6 Km; lo cual, permite realizar los recorridos completos sin realizar descargas profundas al VE que afecten o dañen permanentemente sus baterías. Adicionalmente, la inclinación de las rutas de esta carrera se encuentra entre las máximas y finalmente sus rutas atraviesan el centro histórico, lo cual puede afectar el consumo energético del VE.

Se busco implementar adicional a la recarga eléctrica convencional desde la red eléctrica, la recarga solar mediante un panel solar instalado en un VE. El sistema implementado se puede ver en la Figura 8.

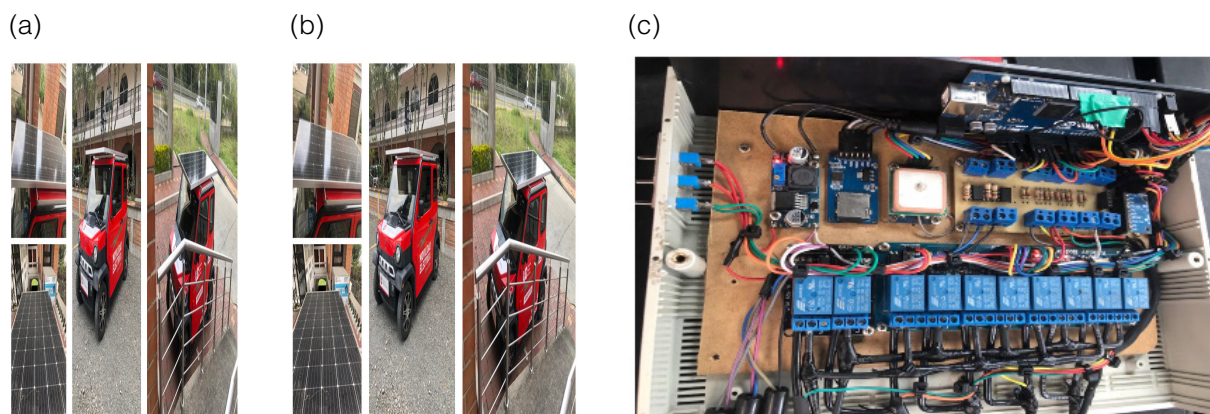


Figura 8. a) Panel solar instalado en el VE; b) VE de la UCACUE; c) Sistema de ecualizador de carga.

Las rutas seleccionadas para realizar los recorridos con el VE son 5, las mismas que pertenecen a las rutas recorridas por los docentes de la facultad de Ingeniería Eléctrica, estas rutas fueron seleccionadas tomando en cuenta la distancia que recorrerá el vehículo desde el domicilio de cada docente, hasta sus respectivas dependencias laborales. Debido a que los domicilios de los docentes se encuentran en distintos puntos de la ciudad de Cuenca, se subdividió el total de rutas en tres categorías, las mismas que son: rutas largas (6,09 Km), rutas medianas (4,11 Km) y rutas cortas (1,43 Km).

Una vez determinado el tipo de ruta que realiza cada docente, se procede a analizar el grado de inclinación que varía de acuerdo al grado de pendiente que tiene cada ruta, debido a que esta característica influye directamente en el tiempo de duración del recorrido del VE y en el consumo de potencia eléctrica necesaria para el desplazamiento del mismo. Luego de analizar las distancias y tipo de pendiente de cada ruta, se determina las de mayor o menor tráfico vehicular, donde se establece para todas las rutas una hora pico entre las 16:30 horas y 17:20 horas. Una vez realizado los recorridos se determina si el VE puede cubrir todas las rutas de ida y vuelta, consumiendo únicamente la potencia generada por el panel solar, la misma que se encuentra almacenada en el banco de baterías.

En la Figura 9, se presenta los valores de manera resumida durante los 22 días laborables del mes de mayo donde se ha recaudado los datos de carga durante el día desde las (8am hasta las 4pm), horario de la jornada laborable de los docentes de la UCACUE.



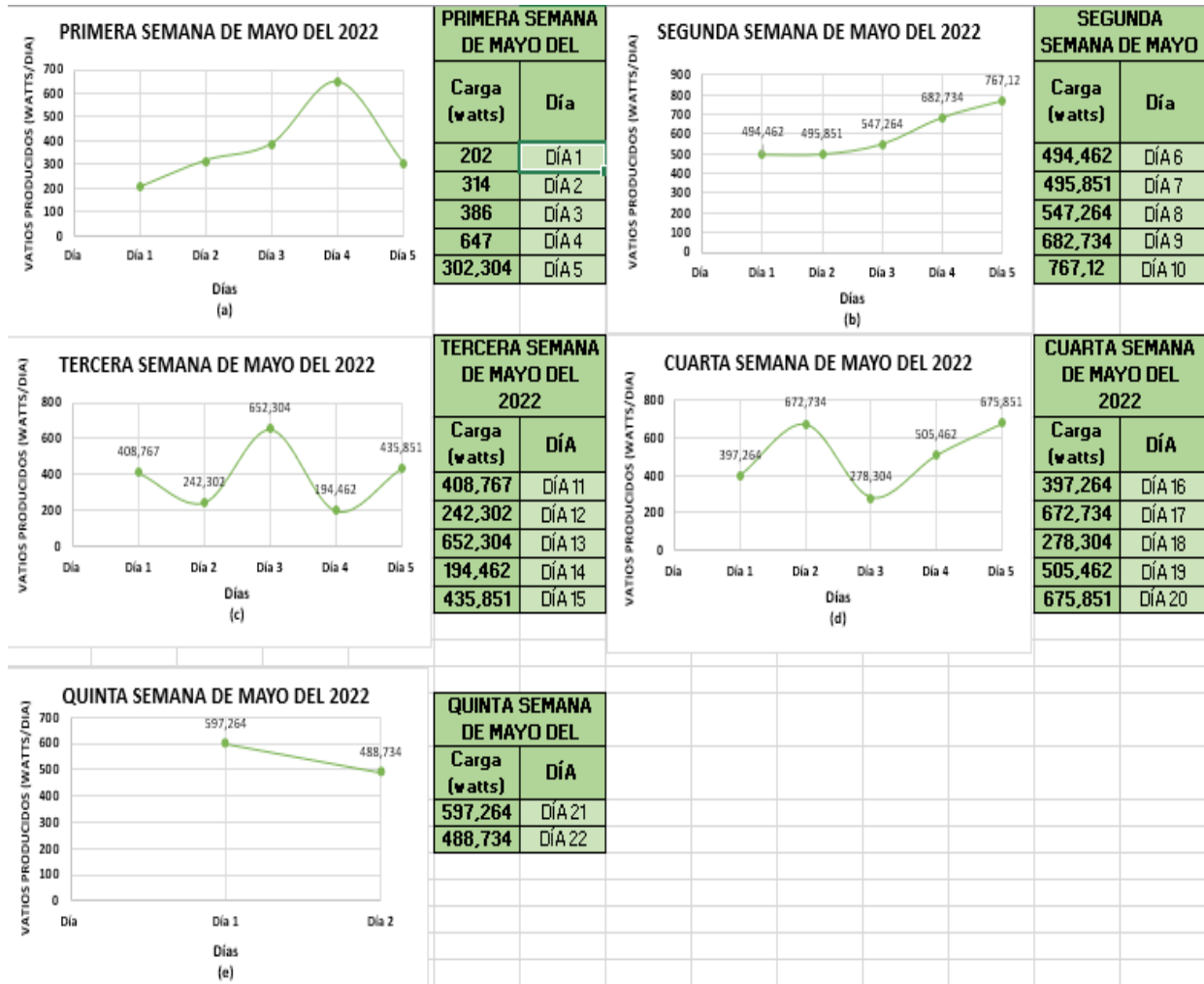


Figura 9. Valores de producción (W/d) durante el mes de mayo del 2022, a) Primera semana, b) Segunda semana, c) Tercera semana, d) Cuarta semana, e) Quinta semana.

En la Figura 10, se observa que en los días 1, 2, 5, 11, 13, 16, 17, y 18 del mes de mayo del 2022, son los días que menos carga ha aportado a las baterías debido a que el tiempo climático se encontraba con lluvia, y nubosidad. Esto afecta directamente a la captación de la radiación solar, generando los paneles solares menor energía; lo cual, afecta directamente al tiempo de carga del banco de baterías. Claro, esto debido a que mientras exista menor radiación solar mayor será el tiempo de carga del banco de baterías.



Figura 10. Representación gráfica de producción (W/d) en los días menor carga aportada.

En la Tabla 4, se detalla la energía generada en los días con menor carga durante los diferentes recorridos realizados.

Tabla 4. Valores de producción (W) en los días con menor carga aportada.

Días con menor carga	Carga (watts)	Día	Estado del tiempo climático en Cuenca Ecuador
	202,304	DÍA 1	Día lluvioso
	314,462	DÍA 2	Día nublado
	302,304	DÍA 5	Día nublado
	194,462	DÍA 11	Día lluvioso
	397,264	DÍA 13	Día nublado
	408,767	DÍA 16	Día nublado
	242,302	DÍA 17	Día lluvioso
	278,304	DÍA 18	Día nublado
	292,521125	Promedio	

En la Figura 11, se observa que en los días 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 19, 20, 21 y 22 del mes de mayo del 2022, son los días que mayor carga han aportado a las baterías, con un pico máximo de generación de energía igual a 767,12 W en el día 15 de mayo y un pico mínimo de generación de energía igual a 385,851 W en el día 3 de mayo, esto se da debido a que el tiempo climático se encontraba con días soleados con mínimas y/o nulas precipitaciones. Beneficiando directamente a la captación de la radiación solar, generando los paneles solares mayor energía, lo cual reduce el tiempo de carga del banco de baterías.



Figura 11. Representación gráfica de producción (W) en los días mayor carga aportada.

En la Tabla 5, se detalla la energía generada en los días con mayor carga durante los diferentes recorridos realizados, donde se puede observar que el día 15 de mayo de 2022 se tiene una energía máxima generada igual a 767,12 W, esto se da debido a que el 15 de mayo se tenía un día soleado con nulas precipitaciones.

Tabla 5. Valores de producción (W) en los días mayor carga aportada.

Carga (watts)	Día	Estado del tiempo climático en Cuenca Ecuador
385,851	DÍA 3	Día soleado con tarde de lluvia
647,264	DÍA 4	Día soleado
494,462	DÍA 6	Día soleado con tarde de lluvia
495,851	DÍA 7	Día soleado con tarde de lluvia
547,264	DÍA 8	Día soleado
682,734	DÍA 9	Día soleado
652,304	DÍA 10	Día soleado
435,851	DÍA 12	Día soleado con tarde de lluvia
672,734	DÍA 14	Día soleado
767,12	DÍA 15	Día soleado
505,462	DÍA 19	Día soleado con tarde de lluvia
675,851	DÍA 20	Día soleado

597,264	DÍA 21	Día soleado		
488,734	DÍA 22	Día soleado con tarde de lluvia		
574,910429	Promedio			

En la Tabla 6, se obtiene los datos de producción de carga para las baterías del VE durante los días laborables del mes de mayo del 2022.

Tabla 6. Datos de producción (W) durante el mes de mayo del 2022.

Semana 1 de mayo del 2022			Semana 2 de mayo del 2022		
	Semana 1 Carga (watts)	Día		Semana 2 Carga (watts)	Día
Lunes	202,304	DÍA 1	Lunes	494,462	DÍA 6
Martes	314,462	DÍA 2	Martes	495,851	DÍA 7
Miércoles	385,851	DÍA 3	Miércoles	547,264	DÍA 8
Jueves	647,264	DÍA 4	Jueves	682,734	DÍA 9
Viernes	302,304	DÍA 5	Viernes	767,12	DÍA 10
Semana 3 de mayo del 2022			Semana 4 de mayo del 2022		
	Semana 3 Carga (watts)	Día		Semana 4 Carga (watts)	Día
Lunes	408,767	DÍA 11	Lunes	397,264	DÍA 16
Martes	242,302	DÍA 12	Martes	672,734	DÍA 17
Miércoles	652,304	DÍA 13	Miércoles	278,304	DÍA 18
Jueves	194,462	DÍA 14	Jueves	505,462	DÍA 19
Viernes	435,851	DÍA 15	Viernes	675,851	DÍA 20
Semana 5 de mayo del 2022					
	Semana 5 Carga (watts)	Día			
Lunes	597,264	DÍA 21			
Martes	488,734	DIA 22			

Con base en los datos obtenidos, se puede observar como la irradiancia promedio varía por cada mes, debido a que existen dos estaciones en el Ecuador que es húmeda y seca, las estaciones varían en el país según las regiones, en la sierra el mes húmedo empieza desde octubre hasta mayo y la estación seca empieza desde junio hasta septiembre.

En la Tabla 7 se obtiene el promedio mensual de irradiación solar (kWh/m<sup>2</sup>/día) en la ciudad de Cuenca, con un promedio máximo de 4,52 kWh/m<sup>2</sup>/día, en el mes de diciembre y un promedio mínimo de 3,69 kWh/m<sup>2</sup>/día, en el mes de junio.

Para la presente investigación se realizó la recopilación de información en el mes de mayo, que tiene un promedio de 3,92 kWh/m<sup>2</sup>/día, siendo el mes con uno de los promedios más bajos en el año. Se realizó el análisis en este mes para determinar si con un mínimo promedio de irradiación solar, el VE adquiere suficiente autonomía alimentando su banco de baterías únicamente con la generación de energía proveniente del panel solar, para de esta manera completar los recorridos asignados por cada docente. Al finalizar los recorridos de todas las rutas en el mes de mayo se obtuvo un promedio de 380,34W de energía generada por día mediante el panel fotovoltaico.

Tabla 7. Promedio anual de [kWh/m<sup>2</sup>/día].

MES	PROMEDIO [kWh/m2/día]	VALOR POR UNIDAD	CUANTO SE PRODUCIRÍA POR MES (watts)
Enero	4,2	0,92	413,14
Febrero	4,12	0,91	399,38
Mazo	4,3	0,95	416,83
Abril	4,11	0,90	398,41

Mayo	3,92	0,86	380,34
Junio	6,69	0,81	357,70
Julio	3,77	0,83	365,45
Agosto	4,03	0,89	390,66
Septiembre	4,21	0,93	408,11
Octubre	4,28	0,94	414,89
Noviembre	4,51	0,99	437,19
Diciembre	4,52	1	438,16
Media anual irradiación global	4,14	0,92	406,26
Mayor anual	4,52	1	438,16
Menor anual	3,69	0,816	357,70

En la Tabla 8, se realizó un análisis comparativo de costos entre un vehículo de combustión y un VE para el recorrido de una distancia de 320 Km, donde se indica que un vehículo de combustión consume 3,2 galones de combustible, lo cual genera un gasto de 13,72 dólares, mientras tanto un VE no genera ningún gasto por consumo de combustible.

Tabla 8. Costos de consumo entre un VE y de combustión.

Tipo de vehículo	Kilómetros recorridos (Km)	Combustible consumido (galones)	Costo por galón (\$)
VE	320 km	0 g	0 \$
VC	320 km	3,2 g	13,72 \$

En la Tabla 9, mediante una fotografía se detalla las emisiones, consumo, mantenimiento e impuestos que sería de cancelar en el caso de un vehículo de combustión interna. Así mismo, se detalla las emisiones, ahorro e implementaciones de un VE, también se determina las emisiones tóxicas y el cuidado del medio ambiente (Figura 12).

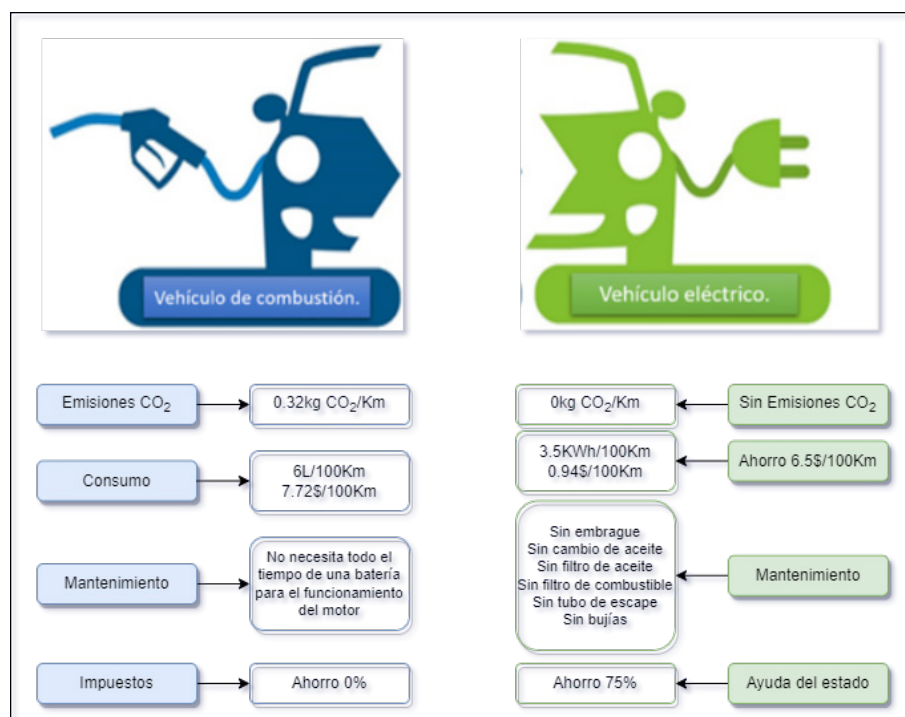
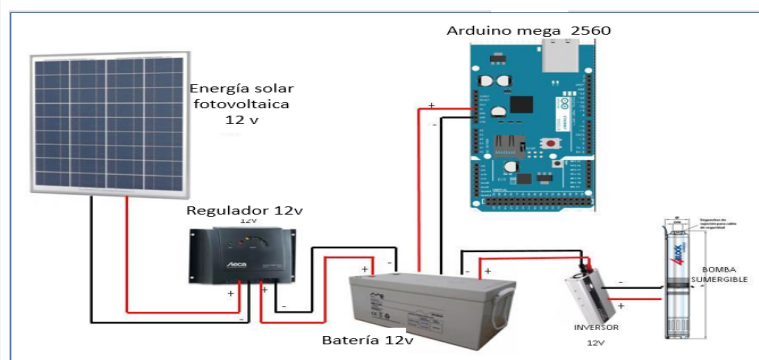


Figura 12. Ventajas que tiene el VE, y no el vehículo de combustión.

Tabla 9. Costos del VE y sistema de carga media panel fotovoltaico.

Marca de vehículo	Vehículo	Valor del vehículo
DAYANG CHOK C1		<p>Su precio varía entre los 7.000 a 8.500 dólares sus características son:                      Motor de 1,3kw hasta 16kw, con una autonomía de 100km a 160km.</p> <p>La velocidad del vehículo Dayang Chok C1, alcanza una velocidad de 50 a 60 km/h, si el vehículo se encuentra en una autopista puede llegar a 60 km/h y si se encuentra en una vía con pendientes puede llegar hasta 40 o 50 km/h.</p>

Sistema electrónico para el método de carga con el panel solar



Unidades	Componentes electrónicos	Valor dólares (\$)
1	Panel solar fotovoltaico	150,00 \$
2	Resistencia shunt	40,00 \$
1	Regulador de voltaje	30,00 \$
1	Arduino mega 2560	27,00 \$
1	Arduino Nano	13,00 \$
1	Módulo relé de 8 canales	15,00 \$
1	Módulo relé de dos canales	4,00 \$
2	Módulo ADS 1115	30,00 \$
2	Módulo Bluetooth Hc-05	20,00 \$
1	Divisor de voltaje	60,00 \$
1	Módulo acelerómetro	10,00 \$
1	Módulo GPS	15,00 \$
1	Módulo SD	5,00 \$
1	Regulador de voltaje de CC a CC	3,00 \$
6	Porta fusible	7,50 \$
6	Fusibles de 40 amperios	1,50 \$
1	Mano de obra	300,00 \$
TOTAL, DÓLARES (\$)		731,00 \$

Para realizar el análisis de costo beneficio entre un VE y un vehículo de combustión, se consideró el consumo de combustible generado por un vehículo marca Kia Rio, el cual es de uso común entre los docentes de la Universidad Católica de Cuenca.

En la Tabla 10, se indica a detalle cual sería el costo generado por un vehículo Kia Rio al recorrer 320 kilómetros, que corresponden al recorrido realizado en una ruta larga durante todo el mes de mayo; donde, se obtuvo un costo total por mes igual a 67,91 dólares con un consumo de 35,55 litros de combustible.

Tabla 10. Datos de consumo de combustible.

Precio (\$) x galón	\$1,91	1 litro de gasolina		
	1	4,54	litros	
Kilómetros recorridos por litro de combustible	9	1	litros	
Km recorridos	16	1,78	3,40	Precio (\$) por recorrido
Km recorrido	320	35,56	67,91	Precio (\$) por mes

En la Tabla 11, se indica que el VE está valorado en 5 mil dólares y de acuerdo al costo mensual de combustible calculado en la Tabla 10, se determina que en un año de consumo de combustible se tendría un gasto de 814, 93 dólares por lo tanto para cubrir el costo de adquisición del VE, se lo realizarían en el transcurso de 7 años, solo con los valores de consumo de combustible.

Tabla 11. Cálculo de amortización del VE.

Precio del VE	\$5000	\$67,91	Gasto en 1 mes de combustible
		\$814,93	Gasto en 1 año de combustible
		\$5704,53	Amortización en dólares en 7 años

En Tabla 12, se indica las rutas recorridas por todos los docentes de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, de las cuales se puede observar que el VE tiene la suficiente autonomía para recorrer todas las rutas indicadas, con excepción de las rutas realizadas por los docentes: Ing. Barbecho, Ing. Remache e Ing. Macancela.

Por lo tanto, se determina que para la Unidad Académica antes mencionada, la Universidad Católica de Cuenca debería adquirir 48 VE, mediante un convenio entre los docentes y la Universidad Católica de Cuenca para que sea una inversión compartida; donde cada docente cubrirá el 50% del valor total del VE y la Universidad Católica de Cuenca cubrirá con el otro 50% del VE.

Tabla 12. Rutas que se puede movilizarse con el VE.

Docente	Distancia (km)	Realiza el recorrido		Docente	Distancia (km)	Realiza el recorrido	
		SI	NO			SI	NO
Ing. Chacho	1,439701	X		Ing. Córdova	1,04937	x	
Ing. Morales	2,342856	X		Ing. Coronel	1,489318	x	
Ing. Cobos	2,802107	X		Ing. Palma	2,611258	x	
Ing. Campoverde	3,280193	X		Ing. Cordero	2,904029	x	
Ing. Ochoa	4,950588	X		Ing. Coronel	3,981311	x	
Ing. Flores	5,057455	X		Ing. Méndez	5,255967	x	
Ing. Gutiérrez	6,057455	X		Ing. Ochoa	5,500424	x	
Ing. Cabrera	6,093082	X		Ing. Maldonado	5,657465	x	
Arq. Delgado	2,014898	X		Ing. Campos	5,788999	x	
Arq. Quesada	2,857694	X		Ing. Cobos	5,800524	x	
Arq. Albarracín	2,883615	X		Ing. Maldonado	5,864912	x	

Arq. Espinosa	3,234947	X		Ing. Chacón	6,348464	x	
Arq. Pesantez	3,710002	X		Ing. Darquea	6,843531	x	
Arq. Tamayo	4,05454	X		Ing. Calle	7,27452	x	
Arq. Aguirre	4,288488	X		Ing. Barbecho	11,61503		X
Arq. Quezada Ortega	4,509478	X		Ing. Almache	12,41783		X
Arq. Gamón	4,810222	X		Ing. Macancela	14,15045		X
Arq. Angumba	5,253866	X		Ing. Solano	1,367573	x	
Arq. Peña Herrera	5,306119	X		Ing. Matovelle	2,465968	x	
Arq. Sigüencia	5,482348	X		Ing. Martínez	3,168192	x	
Arq. Torres	5,751475	X		Ing. Iglesias	4,205759	x	
Arq. Contreras	6,1611	X		Ing. Cordero	4,518166	x	
Arq. Quizhpe	6,349193	X		Ing. González	4,814266	x	
Arq. Ávila	6,427989	X					
Arq. Pintado	7,434436	X		Arq. Heras	7,435262	X	

### CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, los alumnos presentan mayor interés en realizar soluciones para problemas de la vida real, consiguiendo como se presenta aquí una solución novedosa y de bajo costo; que determina la factibilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos en vehículos eléctricos, para el transporte desde los domicilios hasta las dependencias de trabajo del personal docente de la Universidad Católica de Cuenca.

Existe una evolución positiva de manera homogénea en todo el grupo de trabajo. Esto es importante de destacar, pues bajo otras metodologías existen alumnos que trabajan o colaboran más, en cambio bajo esta metodología existió una participación activa de todos los alumnos. Incluso, algunos de ellos continuaron y continúan trabajando en la misma problemática como trabajo de titulación.

En cuanto al trabajo presentado, los alumnos diseñaron e implementaron un circuito electrónico capaz de medir la potencia generada por el panel solar durante la permanencia del VE (8 horas) en las dependencias de la Universidad Católica de Cuenca. Además, se midieron la potencia consumida por el VE durante el recorrido realizado por los docentes desde y hacia sus domicilios, mediante el circuito instalado; se puede afirmar que en los recorridos realizados por el VE se tiene una demanda total de potencia menor a la potencia total generada por el panel solar. Por lo cual, los docentes no tendrían que cargar los VE y podrían tener una movilidad Neta Cero.

Para determinar la factibilidad del uso de vehículos eléctricos autónomos en el traslado de los docentes de la Universidad Católica de Cuenca, se trazaron rutas desde sus domicilios hasta sus dependencias laborales en cada una de sus facultades, subdividiendo en rutas largas, medias y cortas, con las siguientes características: rutas con bajo y alto tráfico, tipo de calzada y con distintas pendientes, obteniendo como resultado el recorrido de todas las rutas alimentando el VE únicamente con la energía eléctrica generada por el panel solar, misma que es almacenada en el banco de baterías.

De acuerdo al alto nivel de radiación solar con el que cuenta la ciudad de Cuenca, se considera factible la implementación de un panel solar para recargar el banco de baterías del VE, logrando conseguir una movilidad con autonomía total (Electro Movilidad Cero) con mayor eficiencia energética y de esta manera contribuir con la mitigación de la contaminación ambiental al aprovechar una energía renovable para la generación de energía eléctrica.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amry, Y., Elbouchikhi, E., Le Gall, F., Ghogho, M., & El Hani, S. (2022). Electric Vehicle Traction Drives and Charging Station Power Electronics: Current Status and Challenges. *Energies*, 15(16), 1–30.

Ausín, V., Abella, V., Delgado, V., & Hortigüela, D. (2016). Aprendizaje basado en proyectos a través de las TIC: Una experiencia de innovación docente desde las aulas universitarias. *Formación Universitaria*, 9(3), 31–38.

- Chatkin, J., Correa, L., & Santos, U. (2022). External Environmental Pollution as a Risk Factor for Asthma. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 62(1), 72–89. <https://doi.org/10.1007/s12016-020-08830-5>
- Collazos, C. A., Otero, H. R., Isaza, J. J., & Mora, C. (2016). Enseñanza de la Electrostatica por Medio de la Construcción de Prototipos de Bajo Costo y el Aprendizaje Basado en Proyectos. *Formación Universitaria*, 9(2), 115–122.
- Destek, M. A., & Aslan, A. (2020). Disaggregated renewable energy consumption and environmental pollution nexus in G-7 countries. *Renewable Energy*, 151, 1298–1306.
- Fernández Cabezas, M. (2017). Aprendizaje basado en proyectos en el ámbito universitario: una experiencia de innovación metodológica en educación. *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 1(1), 269–278.
- Gopal, A. R., Park, W. Y., Witt, M., & Phadke, A. (2018). Hybrid- and battery-electric vehicles offer low-cost climate benefits in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62(March), 362–371.
- Haba, C. G. (2019). Monitoring Solar Panels using Machine Learning Techniques. (Ponencia). *8th International Conference on Modern Power Systems*. Cluj-Napoca, Cluj, Romania.
- Karasoy, A., & Akçay, S. (2019). Effects of renewable energy consumption and trade on environmental pollution. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(2), 437–455.
- Pata, U. K. (2021). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 846–861.
- Sahoo, S., Zhao, X., & Kyprianidis, K. (2020). A review of concepts, benefits, and challenges for future electrical propulsion-based aircraft. *Aerospace*, 7(4). <https://www.mdpi.com/2226-4310/7/4/44>
- Toledo Morales, P., & Sánchez García, J. M. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia universitaria. *Profesorado*, 22(2), 429-449. <https://idus.us.es/handle/11441/86870>
- Xing, J., Leard, B., & Li, S. (2021). What does an electric vehicle replace? *Journal of Environmental Economics and Management*, 107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0095069621000152>
- Zúñiga Martínez, S., & Mora, C. (2017). El Aprendizaje Basado en Proyectos y la construcción de prototipos experimentales, un estudio de caso: el modelo de un reductor de velocidad. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6353425>