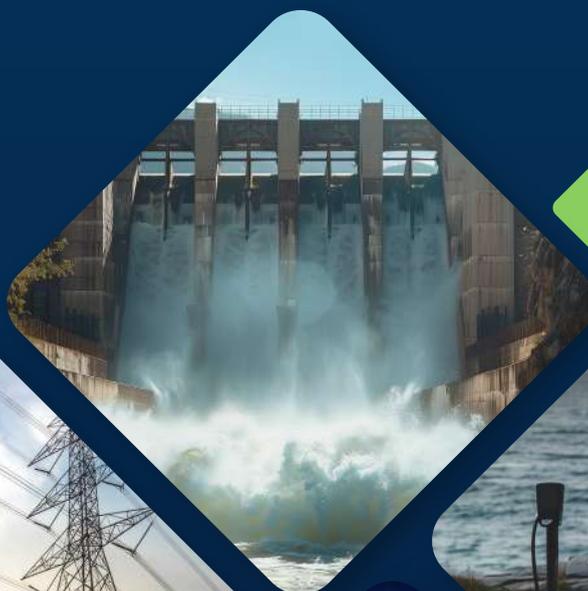


PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024



# Presentación

Panorama Eléctrico es una publicación bimensual que aborda temas clave del Sector Eléctrico, incluyendo la gestión de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. Además, proporciona cifras actualizadas sobre el desempeño del sector, complementando así las publicaciones anuales de la Estadística y Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano.

En esta edición **se abordan los siguientes temas:**

- ✓ Localización óptima de micro centrales de generación fotovoltaica en la ciudad de Quito utilizando un método combinado Fuzzy-AHP-GIS
- ✓ Gestión de activos en sistemas eléctricos de potencia: Definición, normas e implementación
- ✓ Autonomía Energética: Cómo la Generación Local puede impulsar el Sistema Eléctrico Ecuatoriano
- ✓ Visión Artificial para la Extracción de Información en Imágenes
- ✓ Aprovechamiento de las baterías de los vehículos eléctricos para flexibilizar la integración de generación renovable en sistemas eléctricos insulares: el caso de las Islas Galápagos

Las cifras incluidas, actualizadas a abril de 2024, **abarcán indicadores, e información de infraestructura, demanda y balance energético nacional.**

Estimado lector, en nuestro compromiso de brindarle contenido valioso para su gestión y comprensión del sector eléctrico, esperamos que esta información le sea de utilidad.

## Capítulo

# 01

## Localización óptima de micro centrales de generación fotovoltaica en la ciudad de Quito utilizando un método combinado Fuzzy-AHP-GIS

.....	1
1.1 Resumen .....	2
1.2 Introducción .....	2
1.3 Metodología .....	4
1.3.1 Sistemas de información geográfica .....	4
1.3.2 Análisis multicriterio .....	6
1.4 Resultados .....	9
1.5 Conclusiones .....	12
1.6 Futuras investigaciones derivadas .....	12
1.7 Referencias .....	13
1.8 Autor .....	13

## Capítulo

# 02

## Gestión de activos en sistemas eléctricos de potencia: Definición, normas e implementación

.....	14
2.1 Resumen .....	15
2.2 ¿Qué es la gestión de activos? .....	16
2.3 Normas internacionales para la gestión de activos .....	17
2.4 Sistema de gestión de activos .....	17
2.5 Retiro de equipos: Importancia y estrategias .....	18
2.6 Conclusiones .....	19
2.7 Referencias .....	20
2.8 Autor .....	20

## Capítulo

# 03

## Autonomía Energética: Cómo la Generación Local puede impulsar el Sistema Eléctrico Ecuatoriano

.....	21
3.1 Antecedentes .....	22
3.2 Estudios preliminares .....	24
3.2.1 Conclusiones y Recomendaciones .....	29
3.2.2 Referencias Bibliográficas .....	30
3.3 Autores .....	30

## Capítulo

# 04

## Visión Artificial para la Extracción de Información en Imágenes

.....	31
4.1 Resumen .....	32
4.2 Introducción .....	32
4.3 Problemática .....	33
4.4 Justificación .....	33
4.5 Alcance .....	33
4.6 Objetivo .....	33
4.7 Marco Teórico y estado del arte .....	34
4.7.1 Datos estructurados .....	34
4.7.2 Datos no estructurados .....	34
4.7.3 Visión Artificial .....	34
4.7.4 Extracción de textos .....	35
4.7.5 Tesseract .....	35
4.7.6 Pytesseract .....	36
4.8 Metodología e Implementación .....	36
4.8.1 Carga de imagen .....	36
4.8.2 Preprocesamiento .....	37
4.8.2.1 Conversión a escala de grises .....	37
4.8.2.2 Eliminación de ruido .....	38
4.8.2.3 Binarización .....	38
4.8.2.4 Ajuste del grosor de las fuentes .....	39
4.8.3 Reconocimiento de texto .....	40
4.8.4 Postprocesamiento .....	41
4.9 Resultados .....	42
4.10 Conclusiones .....	45
4.11 Trabajos a Futuro .....	46
4.12 Referencias .....	46
4.13 Autor .....	47

## Capítulo

# 05

## Aprovechamiento de las baterías de los vehículos eléctricos para flexibilizar la integración de generación renovable en sistemas eléctricos insulares: el caso de las Islas Galápagos

.....	48
5.1 Introducción .....	49
5.2 Materiales y métodos .....	51
5.2.1 Diseño de la configuración del banco de pruebas experimental .....	51
5.2.2 Propuesta de Control para la Mitigación de las Fluctuaciones de Potencia .....	53
5.2.2.1 Método Ramp-Rate (R-R) .....	54
5.2.2.2 Mejoras con Lógica Difusa .....	54

5.3	Resultados .....	55
5.3.1	Validación Experimental de la Propuesta .....	55
5.4	Discusión .....	56
5.5	Conclusiones .....	57
5.6	Lista de Abreviaturas y Acrónimos Utilizados .....	57
5.7	Referencias .....	58
5.8	Autor .....	58

# Capítulo 06

## Cifras del sector eléctrico ecuatoriano

	.....	59
6.1	Cifras principales del sector eléctrico, abril 2024 .....	60
6.2	Potencia, producción de energía, consumos, facturación .....	61
6.3	Demanda de Energía en el Sistema Nacional Interconectado .....	62
6.4	Cifras etapa de generación .....	63
6.5	Cifras etapa de transmisión .....	65
6.6	Cifras etapa de distribución .....	66

## Contenido de Tablas

<b>Tabla Nro. 1</b>	Tratamiento de datos geospaciales para análisis multicriterio. Elaboración propia .....	5
<b>Tabla Nro. 2</b>	Escala fundamental difusa [11] .....	6
<b>Tabla Nro. 3</b>	Nomenclatura de criterios y subcriterios para el análisis multicriterio. Elaboración propia.....	7
<b>Tabla Nro. 4</b>	Matriz de decisión difusa para la ponderación de criterios. Elaboración propia...	8
<b>Tabla Nro. 5</b>	Resultado método Fuzzy AHP Elaboración propia .....	8
<b>Tabla Nro. 6</b>	Evaluación de alternativas con respecto a los criterios seleccionados. Elaboración propia .....	10
<b>Tabla Nro. 7</b>	Texto extraído y corregido .....	42

# Contenido de Figuras

<b>Figura Nro. 1</b>	Jerarquización de un problema con el método AHP. Elaboración propia.....	7
<b>Figura Nro. 2</b>	Mapa de aptitud del Distrito Metropolitano de Quito para la instalación de micro centrales fotovoltaicas. Elaboración propia .....	9
<b>Figura Nro. 3</b>	Zonas muy adecuadas para la instalación de micro centrales fotovoltaicas en el Distrito Metropolitano de Quito. Elaboración propia.....	10
<b>Figura Nro. 4</b>	Radiación solar promedio en la parroquia Kennedy en (kWh/m <sup>2</sup> ).....	11
<b>Figura Nro. 5</b>	Principales actividades durante el ciclo de vida de un activo .....	16
<b>Figura Nro. 6</b>	Estrategia de MainPower New Zealand Limited para alinear la gestión de activos a sus objetivos organizacionales (MainPower New Zealand Limited, 2019) .....	17
<b>Figura Nro. 7</b>	Ejemplo de matriz de riesgo (Bertling Tjernberg, 2018) .....	18
<b>Figura Nro. 8</b>	Ejemplo de generación local fotovoltaica .....	23
<b>Figura Nro. 9</b>	Piranómetro [1].....	24
<b>Figura Nro. 10</b>	Parte de una serie temporal de radiación solar en Quito .....	25
<b>Figura Nro. 11</b>	Dispersión de datos de irradiancia durante el mismo periodo de tiempo .....	25
<b>Figura Nro. 12</b>	Histograma de irradiancia W/m <sup>2</sup> .....	26
<b>Figura Nro. 13</b>	Ajuste de modelos de distribución de probabilidad a los datos de irradiancia....	26
<b>Figura Nro. 14</b>	Modelo de distribución de Weibull ajustado a los datos de irradiancia .....	27
<b>Figura Nro. 15</b>	Simulación de Montecarlo aplicado al modelo de distribución de la irradiancia...	27
<b>Figura Nro. 16</b>	Valores estimados de irradiancia .....	28
<b>Figura Nro. 17</b>	Código de carga de imagen .....	36
<b>Figura Nro. 18</b>	Carga y visualización de imagen utilizando PIL y Matplotlib .....	36
<b>Figura Nro. 19</b>	Código de conversión a escala de grises .....	37
<b>Figura Nro. 20</b>	Conversión a escala de grises de la imagen .....	37
<b>Figura Nro. 21</b>	Código de eliminación de ruido .....	38
<b>Figura Nro. 22</b>	Eliminación de ruido utilizando filtro de mediana .....	38
<b>Figura Nro. 23</b>	Código de binarización .....	39
<b>Figura Nro. 24</b>	Binarización de la imagen .....	39
<b>Figura Nro. 25</b>	Código de ajuste del grosor de las fuentes .....	39
<b>Figura Nro. 26</b>	Ajuste del grosor de las fuentes mediante operaciones morfológicas .....	40
<b>Figura Nro. 27</b>	Código de reconocimiento de texto con LSTM .....	40
<b>Figura Nro. 28</b>	Reconocimiento de texto utilizando Tesseract .....	41
<b>Figura Nro. 29</b>	Código de postprocesamiento del texto extraído .....	41
<b>Figura Nro. 30</b>	Detección de textos en etiquetas de postes .....	43
<b>Figura Nro. 31</b>	Detección de textos en pozos subterráneos .....	44
<b>Figura Nro. 32</b>	Detección de textos en placas de vehículos .....	44
<b>Figura Nro. 33</b>	Detección de textos en facturas .....	45
<b>Figura Nro. 34</b>	Sistema de pruebas implementado en el laboratorio de Micro-Red, Universidad de Cuenca, Ecuador .....	52
<b>Figura Nro. 35</b>	Perfiles fotovoltaico y eólico, reales seleccionados para el estudio.....	52
<b>Figura Nro. 36</b>	Resultados de la validación experimental de la propuesta .....	56

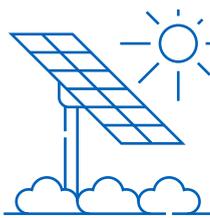
## CAPÍTULO

# 01

Localización óptima  
de **micro centrales  
de generación  
fotovoltaica en la  
ciudad de Quito**  
utilizando un método  
combinado  
Fuzzy-AHP-GIS



# Localización óptima de micro centrales de generación fotovoltaica en la ciudad de Quito utilizando un método combinado Fuzzy-AHP-GIS



**Bryan José Silva Perugachi**

Centro de Estudios Superiores de  
Maranathá (México)

Empresa Eléctrica Quito  
bsilva@eeq.com.ec

## 1.1 Resumen

Este artículo identifica las zonas más adecuadas para la instalación de micro centrales de generación fotovoltaica en el Distrito Metropolitano de Quito. Utilizando un método combinado de análisis multicriterio Fuzzy-AHP y Sistemas de Información Geográfica, se consideran criterios climáticos, orográficos, de ubicación y ambientales. Estos criterios fueron seleccionados a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica y de la disponibilidad de datos abiertos de entidades municipales y gubernamentales. El análisis revela que las parroquias más adecuadas son Píntag, Calderón, Calacalí, San Antonio y Kennedy, siendo esta última la ubicación óptima con una producción de energía eléctrica estimada de 2.148,20 GWh anuales. Esta investigación proporciona una herramienta valiosa para la planificación energética sostenible en el Distrito Metropolitano de Quito, impulsando el uso de energías renovables y la eficiencia energética.



## 1.2 Introducción

En las últimas décadas, **se ha observado un considerable crecimiento en el uso de energías renovables no convencionales** como una medida para combatir la contaminación ambiental y sus graves consecuencias para todas las formas de vida en nuestro planeta [1]. En este contexto y de acuerdo con [2], la energía solar ha surgido como una opción prometedora que puede ser aprovechada de diversas maneras, entre ellas se incluyen la calefacción de edificios, la cocción de alimentos, el calentamiento de agua y la generación de energía eléctrica mediante paneles solares compuestos por células fotovoltaicas. Estas células utilizan un material semiconductor para activar los electrones de sus átomos a través del efecto fotoeléctrico, generando corriente continua que luego se convierte en corriente alterna mediante dispositivos inversores, adecuándose así a la mayoría de los sistemas de distribución de energía eléctrica.

Generalmente, las grandes centrales de generación eléctrica se encuentran alejadas de los puntos de consumo. En el camino hacia la eficiencia energética y sostenibilidad, se hace hincapié en la generación distribuida. **Esta busca la descentralización de la generación de electricidad** mediante la instalación de centrales de menor capacidad ubicadas cerca de los puntos de consumo, **reduciendo así las pérdidas técnicas relacionadas con la transmisión de electricidad**, mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico y reduciendo la generación de gases de efecto invernadero con la presencia de fuentes de energía renovable [3].

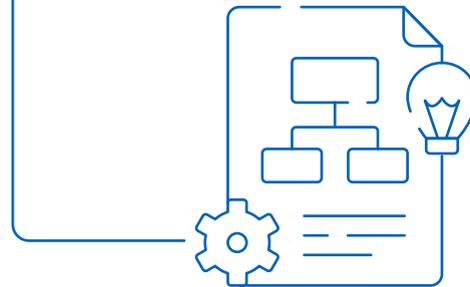
En Ecuador, de acuerdo con datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR[4]), en el año 2023 **las centrales fotovoltaicas representaron únicamente el 0,33% de la potencia total instalada con 29,06 MW, generando el 0,11% de la energía consumida en ese año con 40,57 GWh** [4].

En 2018, la aprobación de la Regulación No. ARCONEL 003/18 **“Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”**, fue la primera normativa relacionada con la implementación de micro centrales de generación fotovoltaica (hasta 300 kW para el sector residencial y hasta 1000 kW para comerciales e industriales) incentivando el uso de estas tecnologías para el autoabastecimiento. En abril de 2021 se aprobó la Regulación No. ARCERNNR 001/21 “Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”.

Entre 2019 y 2023 las empresas distribuidoras, basándose en las regulaciones mencionadas, **autorizaron la instalación de 869 proyectos de micro generación fotovoltaica**. La Empresa Eléctrica Quito **aprobó 326 proyectos que suman una capacidad instalada de 11,651,14 kW**. Entre estos proyectos desarrollados en Quito, 211 fueron instalados por clientes residenciales, 69 por clientes comerciales, 21 por clientes industriales y 25 por clientes con otro tipo de consumo [4].

Dado este contexto, **surge la necesidad de identificar las zonas con mayor potencial para la generación de energía solar fotovoltaica**. Aquí, es donde toma participación el uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), combinados con el Análisis Multicriterio de Decisiones, específicamente el método Fuzzy-AHP (Analytic Hierarchy Process). Este enfoque no solo permite manejar la incertidumbre y la imprecisión en las preferencias y comparaciones, sino que también facilita la evaluación de las alternativas de una forma más precisa y robusta.

Por lo tanto, este estudio **propone la integración del método Fuzzy-AHP con GIS para identificar las zonas óptimas** para la instalación de micro centrales fotovoltaicas en el Distrito Metropolitano de Quito. Esta combinación innovadora permite una planificación energética más sostenible y eficiente, aprovechando los beneficios de ambos enfoques para ofrecer una solución integral al problema de la generación distribuida de energía solar.



## 1.3 Metodología

El objetivo de este trabajo es determinar las zonas óptimas para la instalación de micro centrales fotovoltaicas utilizando datos geoespaciales a partir de las características climáticas y ambientales del Distrito Metropolitano de Quito. Se ponderan los criterios seleccionados y se evalúan las alternativas obtenidas del análisis de datos geoespaciales, considerando un enfoque cuantitativo (datos geoespaciales) y cualitativo (evaluación Fuzzy-AHP).

### 1.3.1 Sistemas de información geográfica

En la Tabla Nro. 1, se presentan los criterios seleccionados con base en la revisión bibliográfica y la disponibilidad de datos abiertos generados por instituciones públicas y privadas. Previo al análisis multicriterio, se debe dar un tratamiento a cada uno de los datos recopilados, considerando la diversidad de las fuentes, los tipos de dato (vector o ráster) y la resolución para datos de tipo ráster.

El Modelo Digital del Terreno, con una resolución de 5 metros, permite un análisis más detallado para la instalación de micro centrales

fotovoltaicas, por esta razón, los demás datos se ajustan a esta resolución utilizando herramientas de geoprocésamiento.

Para realizar un análisis conjunto de todos los datos, después del tratamiento correspondiente, cada dato se clasifica en una escala general de cuatro niveles: Muy adecuado, Algo adecuado, Poco adecuado y No adecuado. En el caso de Áreas Protegidas, el último valor de la escala se denomina Restringido.

Tabla Nro. 1: Tratamiento de datos geospaciales para análisis multicriterio. Elaboración propia

CRITERIO	DATO	TIPO	RESOLUCIÓN	TRATAMIENTO	RESULTADO	ESCALA
Clima	Radiación Global Horizontal [5]	Ráster	250 m	Resample Reclassify	Ráster (5 m) [kWh/m <sup>2</sup> /año]	4. Muy adecuado (>1.800) 3. Algo adecuado (1.600-1.800) 2. Poco adecuado (1.500-1.600) 1. No adecuado (<1.500)
	Temperatura Media [5]	Ráster	1.000 m	Resample Reclassify	Ráster (5 m) [°C]	4. Muy adecuado (<10) 3. Algo adecuado (10-15) 2. Poco adecuado (15-20) 1. No adecuado (>20)
Orografía	Modelo Digital del Terreno [6]	Ráster	5 m	Slope Reclassify	Ráster (5 m) [°C]	4. Muy adecuado (<11) 3. Algo adecuado (11-21) 2. Poco adecuado (21-33) 1. No adecuado (>33)
Ubicación	Vías del Distrito Metropolitano de Quito [7]	Vector (Línea)	-	Euclidean Distance Resample Reclassify	Ráster (5 m) [m]	4. Muy adecuado (<1.000) 3. Algo adecuado (1.000-3.000) 2. Poco adecuado (3.000-5.000) 1. No adecuado (>5.000)
	Centro Poblados [7]	Vector (Punto)	-	Euclidean Distance Resample Reclassify	Ráster (5 m) [m]	4. Muy adecuado (<1.000) 3. Algo adecuado (1.000-3.000) 2. Poco adecuado (3.000-5.000) 1. No adecuado (>5.000)
Ambiental	Áreas Protegidas [7]	Vector (Polígono)	-	Euclidean Distance Resample Reclassify	Ráster (5 m) [m]	4. Muy adecuado (>5.000) 3. Algo adecuado (1.000-5.000) 2. Poco adecuado (500-1.000) 1. Restringido (<500)
	Amenaza por Caída de Ceniza [7]	Vector (Polígono)	-	Euclidean Distance Resample Reclassify	Ráster (5 m) [-]	4. Muy adecuado 3. Algo adecuado 2. Poco adecuado 1. No adecuado
	Amenaza por Flujos Volcánicos [7]	Vector (Polígono)	-	Euclidean Distance Resample Reclassify	Ráster (5 m) [m]	4. Muy adecuado (>5.000) 3. Algo adecuado (1.000-5.000) 2. Poco adecuado (500-1.000) 1. No adecuado (<500)

## 1.3.2 Análisis multicriterio

Es una disciplina que se enfoca en tomar decisiones considerando múltiples criterios; Ishizaka y Nemery [8] lo definen como “un proceso estructurado que ayuda a los tomadores de decisiones a enfrentar situaciones complejas, al permitirles evaluar, comparar y seleccionar alternativas en función de múltiples criterios con el fin de alcanzar una meta u objetivo”.

Entre los métodos más utilizados se encuentra el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), que descompone problemas complejos en estructuras jerárquicas, facilitando la comparación y ponderación de criterios y alternativas. Para manejar la incertidumbre y la imprecisión en las preferencias, comparaciones y juicios de valor, se combina el concepto de números difusos con el método AHP, dando lugar al método Fuzzy-AHP. Para su aplicación, se utiliza el conjunto de números difusos triangulares, desarrollado en [9], para representar los pesos de las escalas lingüísticas en la matriz de decisiones del método AHP.

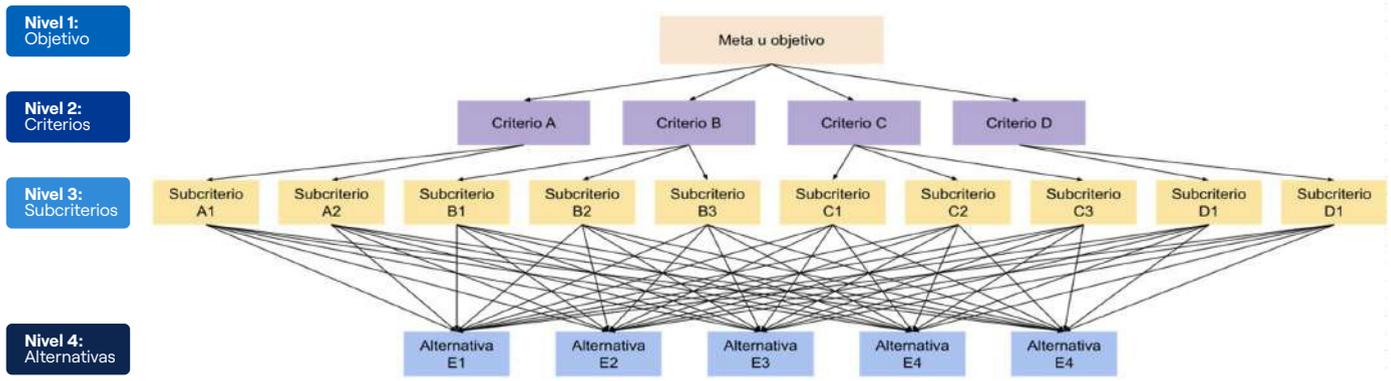
Este método requiere de una matriz en la que se compara la importancia relativa de los diferentes criterios, llamada matriz de decisión. En [10], se presenta una escala ampliamente utilizada en diferentes áreas, combinada con números difusos como se muestra en la tabla Nro. 2, para llevar las preferencias y juicios de valor a una escala numérica.

**Tabla Nro. 2:** Escala fundamental difusa [11].

Grado de importancia	Definición
(1,1,1)	Igual importancia
(1,2,3)	Débil
(2,3,4)	Importancia moderada
(3,4,5)	Moderada y un poco más
(4,5,6)	Fuerte importancia
(5,6,7)	Fuerte y un poco más
(6,7,8)	Importancia muy fuerte o demostrada
(7,8,9)	Muy, muy fuerte
(9,9,9)	Importancia extrema

Previo a la evaluación y ponderación de los criterios, se jerarquizan los criterios y subcriterios seleccionados. Luego, se evalúan las alternativas con respecto a los subcriterios como se muestra en la Figura Nro. 1.

**Figura Nro. 1:** Jerarquización de un problema con el método AHP. Elaboración propia.



Para la implementación del método, se utiliza una nomenclatura específica en las matrices de decisión, detallada en la tabla Nro. 3.

**Tabla Nro. 3:** Nomenclatura de criterios y subcriterios para el análisis multicriterio. Elaboración propia.

Criterio	Descripción	Subcriterio	Descripción
A	Clima	A1	Irradiación solar
		A2	Temperatura promedio
B	Orografía	B1	Pendiente
C	Ubicación	C1	Distancia a ejes viales
		C2	Distancia a zonas urbanas
D	Ambiental	D1	Áreas protegidas
		D2	Amenaza por caída de ceniza
		D3	Amenaza por flujos volcánicos

El método Fuzzy-AHP con valor integral se aplica utilizando la escala difusa presentada en la tabla Nro. 2.

En la tabla Nro. 4, se presenta la evaluación realizada para cada uno de los criterios.

**Tabla Nro. 4:** Matriz de decisión difusa para la ponderación de criterios. Elaboración propia

	A			B			C			D		
A	1	1	1	4	5	6	5	6	7	1	2	3
B	1/6	1/5	1/4	1	1	1	2	3	4	1/4	1/3	1/2
C	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	1	1	1/4	1/3	1/2
D	1/3	1/2	1	2	3	4	2	3	4	1	1	1

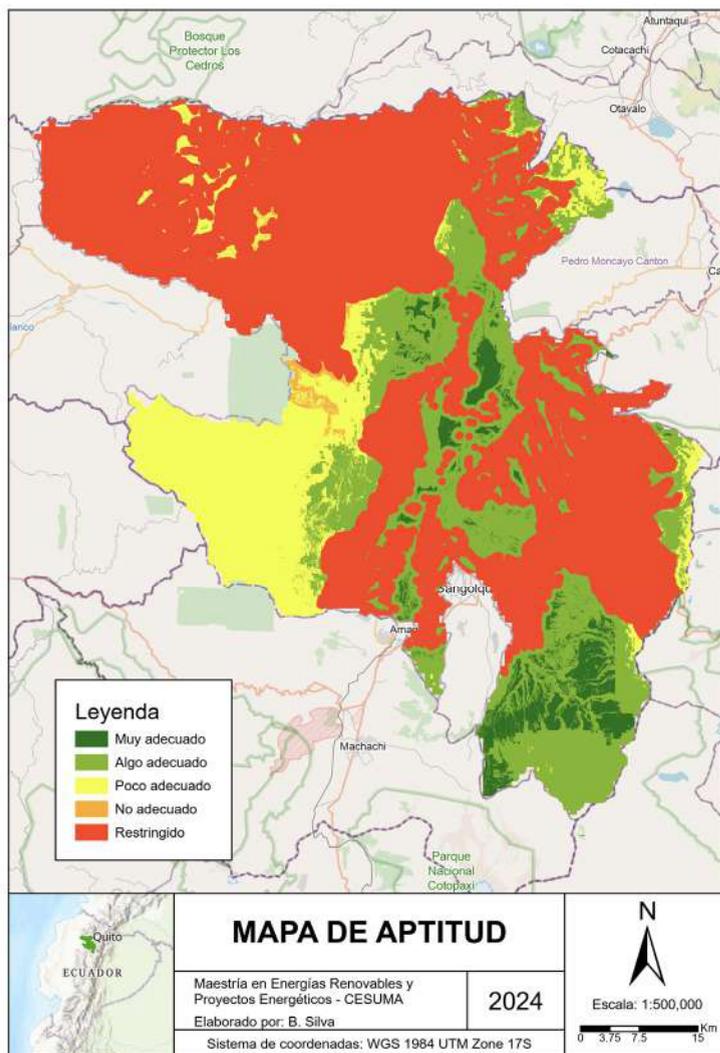
Una vez obtenidos los pesos de los criterios, se procede a evaluar los subcriterios con respecto a los criterios. Los resultados de la evaluación se presentan en la tabla Nro. 5.

**Tabla Nro. 5:** Resultado método Fuzzy AHP Elaboración propia

Criterio	Descripción	Peso	Subcriterio	Descripción	Peso
A	Clima	0,4979	A1	Irradiación solar	0,4481
			A2	Temperatura promedio	0,0498
B	Orografía	0,163	B1	Pendiente	0,163
C	Ubicación	0,0663	C1	Distancia a ejes viales	0,0331
			C2	Distancia a zonas urbanas	0,0331
D	Ambiental	0,2728	D1	Áreas protegidas	0,1894
			D2	Amenaza por caída de ceniza	0,0617
			D3	Amenaza por flujos volcánicos	0,0217

La herramienta Weighted Overlay, o herramientas similares disponibles en diferentes softwares GIS, permiten superponer datos geospaciales y asignar los pesos obtenidos a cada uno de los datos. Como resultado, se obtiene un mapa de aptitud que muestra las zonas más adecuadas y menos adecuadas para la instalación de micro centrales fotovoltaicas.

**Figura Nro. 2:** Mapa de aptitud del Distrito Metropolitano de Quito para la instalación de micro centrales fotovoltaicas. Elaboración propia

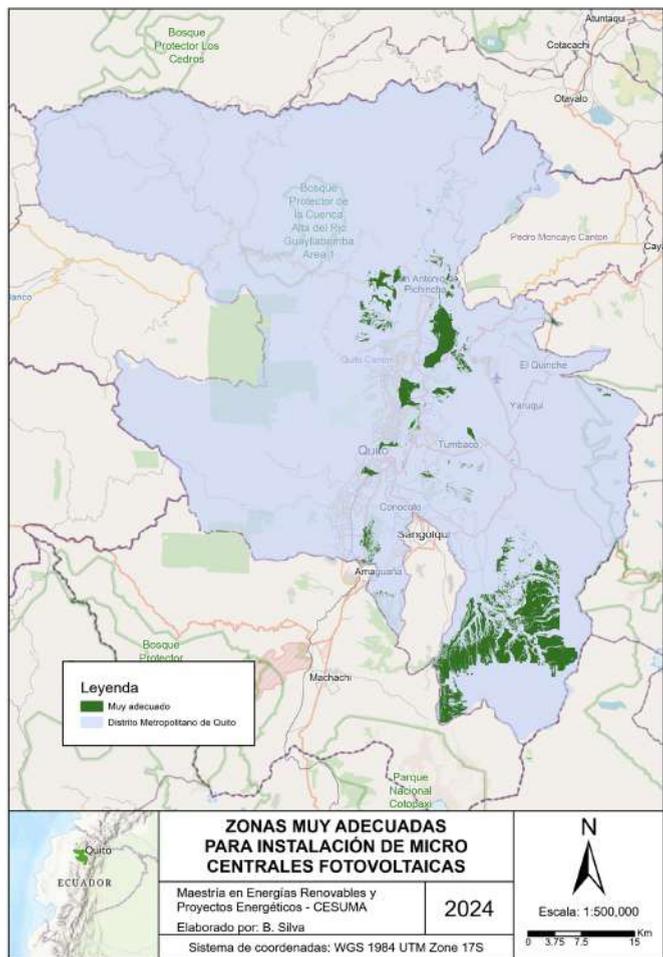


## 1.4 Resultados

Este estudio se centra en identificar las zonas más adecuadas para la instalación de micro centrales fotovoltaicas, por ello, se extrae únicamente la capa que contiene las zonas con valores óptimos para esta instalación.

El mapa de la figura Nro. 3, muestra las parroquias con la mayor cantidad de celdas muy adecuadas: Píntag, Calderón, Calacalí, San Antonio y Kennedy.

**Figura Nro. 3:** Zonas muy adecuadas para la instalación de micro centrales fotovoltaicas en el Distrito Metropolitano de Quito. Elaboración propia.



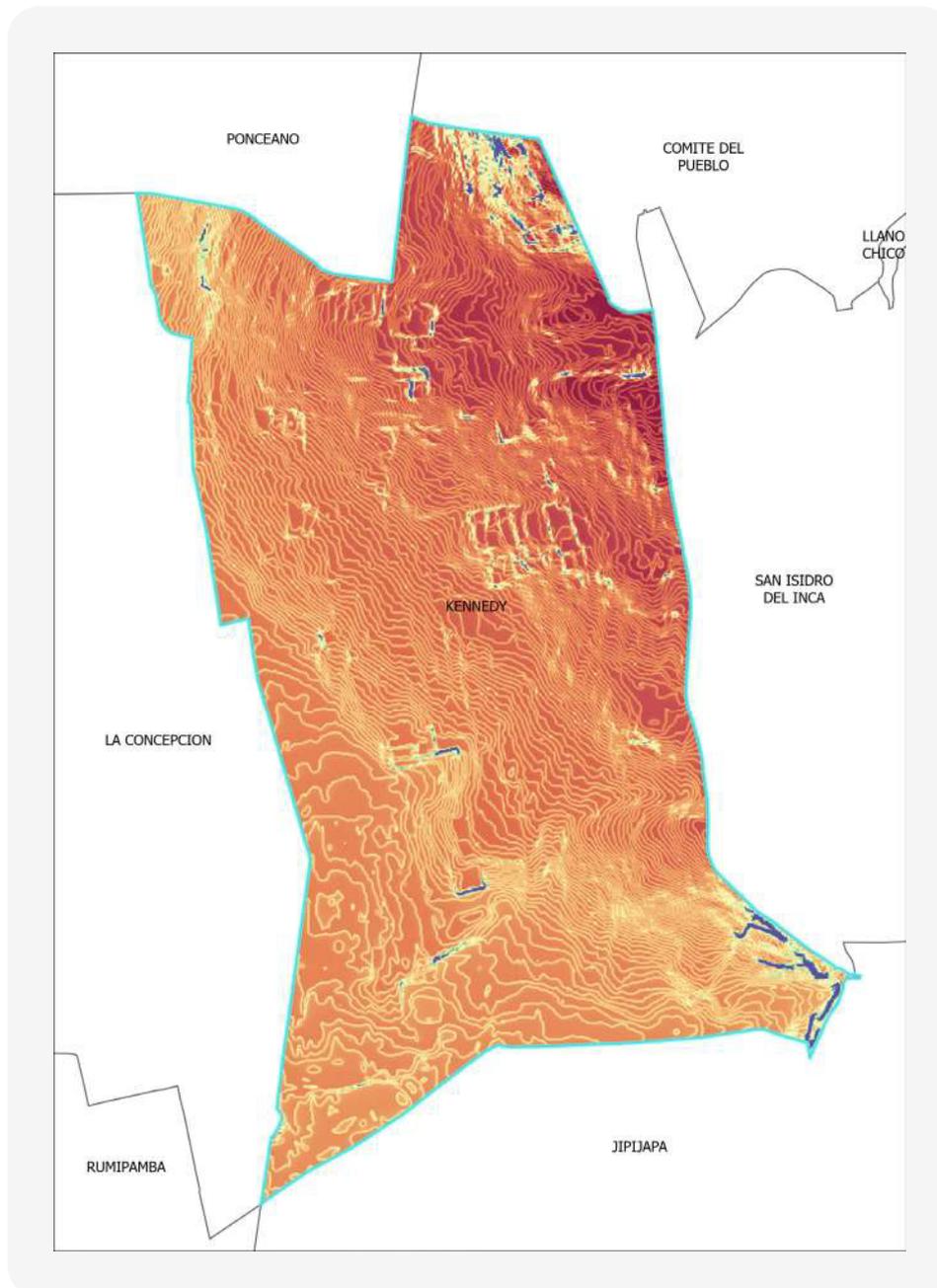
Utilizando el método Fuzzy-AHP para evaluar las alternativas, se determinó que la parroquia Kennedy es óptima con base en los criterios seleccionados, seguida de la parroquia Calderón.

**Tabla Nro. 6:** Evaluación de alternativas con respecto a los criterios seleccionados. Elaboración propia

Evaluación de Alternativas con respecto a subcriterios	A1	A2	B1	C1	C2	D1	D2	D3	Ponderación de alternativas con respecto a la meta	Mejor Alternativa
E1	0,1678	0,3467	0,2203	0,0428	0,0406	0,3483	0,4705	0,0982	0,2283	3
E2	0,322	0,1351	0,2404	0,2722	0,3004	0,1064	0,1283	0,1584	0,2407	2
E3	0,0426	0,1271	0,0449	0,0709	0,0745	0,042	0,1749	0,2834	0,0624	5
E4	0,168	0,0559	0,1121	0,1443	0,1934	0,0846	0,1749	0,4151	0,1434	4
E5	0,2996	0,3354	0,3822	0,4698	0,3911	0,4186	0,0514	0,0449	0,3252	1

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los paneles solares convierten el 16% de la energía solar recibida en electricidad y el 86% de esta electricidad se mantiene a lo largo de la vida útil de la instalación [12]. Considerando estos datos, se estima que el potencial de generación de electricidad en la parroquia Kennedy es de 2.148,20 GWh anuales. Cabe destacar que el consumo de energía eléctrica por habitante en 2022 fue de 1.569,1 kWh [13].

**Figura Nro. 4:** Radiación solar promedio en la parroquia Kennedy en (kWh/m2)



## 1.5 Conclusiones

01

Las parroquias de Píntag, Calderón, Calacalí, San Antonio y Kennedy son las más adecuadas para la generación de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica, de acuerdo con los criterios seleccionados y el método de análisis multicriterio implementado.

02

En particular la parroquia Kennedy se destaca como la ubicación óptima, con un potencial de producción de electricidad de aproximadamente 2.148,20 GWh anuales.

03

Se ha demostrado que el método Fuzzy AHP es aplicable para la evaluación de criterios y alternativas para la ubicación de nuevas centrales de generación eléctrica basadas en energías renovables.

## 1.6 Futuras investigaciones derivadas

Resulta interesante la combinación de múltiples criterios para la toma de decisiones integrados con sistemas de información geográfica, en este contexto, se podría incrementar el criterio eléctrico incluyendo datos de la red con el fin de mejorar perfiles de voltaje en zonas críticas.

Adicionalmente, mediante la generación de Modelos Digitales de Superficie con mejor resolución se podría determinar con mayor precisión y detalle el potencial de generación de electricidad en la ciudad de Quito considerando que estos modelos son representaciones más fieles de la superficie terrestre al incluir datos de edificaciones, vegetación, entre otros, por lo que se recomienda e incentiva la generación de este tipo de datos por parte de las entidades gubernamentales.

## 1.7 Referencias

- [1] O. Alomoto and D. Pilco, "Diseño e implementación de un prototipo de inversor trifásico DC-AC acoplado a un panel fotovoltaico, utilizando el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia mediante un microcontrolador," Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [2] R. Salgado et al., "Plan Maestro de Electricidad," Quito, 2019.
- [3] Fundación ENDESA, "La generación distribuida: Características y microgeneración." Accessed: Oct. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generacion-distribuida>
- [4] ARCERNNR, "Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2023," Quito, 2024.
- [5] Solargis, "Mapas de recursos solares de Ecuador." Accessed: Mar. 18, 2024. [Online]. Available: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>
- [6] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, "Geoportal del Agro Ecuatoriano." Accessed: Mar. 18, 2024. [Online]. Available: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- [7] Municipio de Quito, "Geoportal Metropolitano." Accessed: Mar. 18, 2024. [Online]. Available: <https://geoportal.quito.gob.ec/visor/descargas.php>
- [8] A. Ishizaka and P. Nemery, Multi-criteria decision analysis: methods and software. John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [9] D. Dubois and H. Prade, "Decision-making under fuzziness," Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, pp. 279-302, 1979.
- [10] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [11] P. van Laarhoven and W. Pedrycs, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," Fuzzy Sets Syst, vol. 11, pp. 229-241, 1983.
- [12] D. Khanna, "Estimar el potencial de energía solar," <https://learn.arcgis.com/es/projects/estimate-solar-power-potential/>.
- [13] Ministerio de Energía y Minas, "Balance energético nacional 2022," Quito, 2022.

## 1.8 Autor



**Bryan José Silva**

Magíster en Energías Renovables  
y Proyectos Energéticos

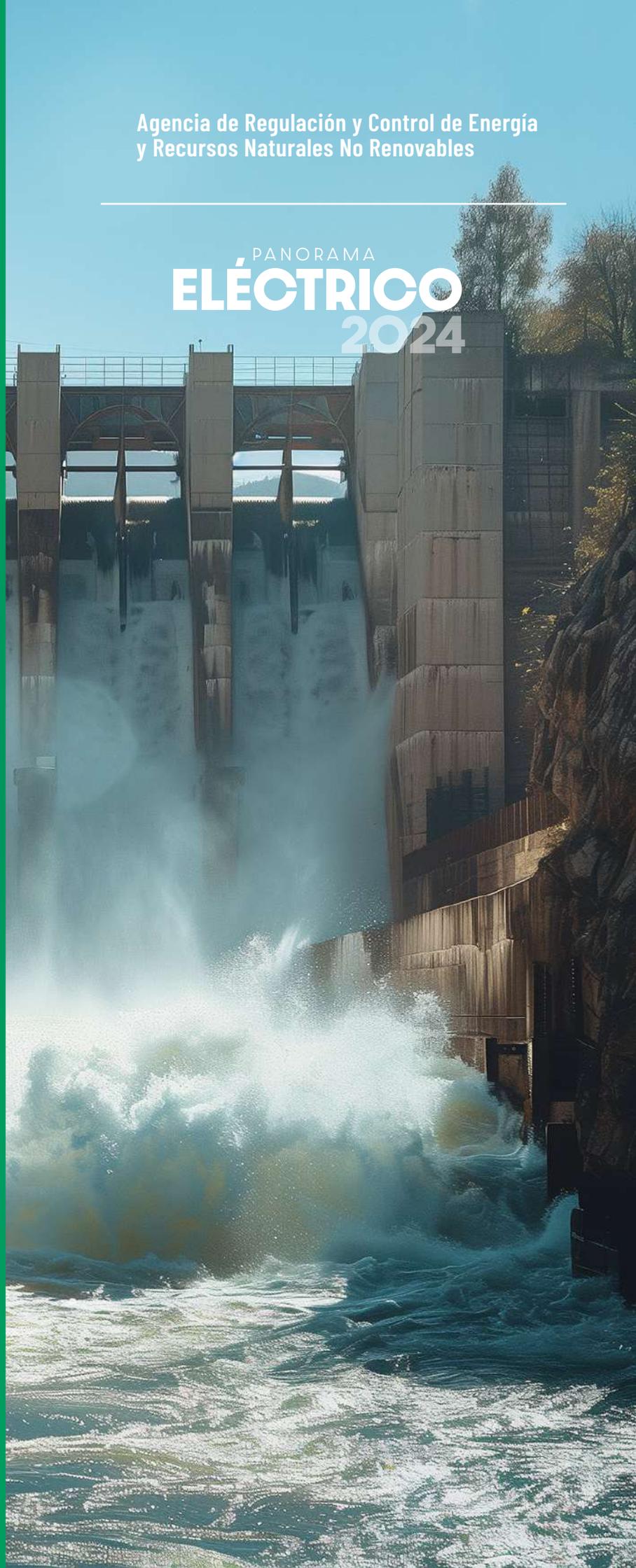
ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



CAPÍTULO

02

**Gestión de activos  
en sistemas  
eléctricos de  
potencia:** Definición,  
normas e  
implementación





## Gestión de activos en sistemas eléctricos de potencia: Definición, normas e implementación

**Wilson Vásquez, PhD**

Profesional, DRTSE, ARCERNR  
Quito, Ecuador

### 2.1 Resumen

Las empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (públicas o privadas) poseen una gran cantidad de activos, los cuales están expuestos a diferentes condiciones ambientales y operativas, y que, en algunos casos, se acercan o han superado su tiempo de vida útil. La gestión de activos es una actividad fundamental para las empresas del sector eléctrico, que les permite reducir costos, incrementar el tiempo de vida de sus activos, optimar su operación, priorizar mantenimientos y planes de retiro, entre otros aspectos. **El presente artículo explica detalladamente en qué consiste la gestión activos, describe las normas más importantes relacionadas con esta actividad, y da algunos ejemplos de su implementación.**



## 2.2 ¿Qué es la gestión de activos?

El Instituto de Gestión de Activos (Institute of Asset Management, IAM) define a un activo como un bien físico o digital que tiene o puede tener valor para una organización (IAM, 2024). En este sentido, para una empresa de generación de energía eléctrica, sus activos comprenden las máquinas y equipos de la planta de generación, las herramientas y equipos utilizados para el mantenimiento, los equipos informáticos, vehículos, entre otros. De manera similar, para una empresa de distribución de energía eléctrica, sus activos comprenden las redes aéreas y subterráneas, los transformadores de potencia y distribución, los equipos de protección y de compensación de energía reactiva, las luminarias para el alumbrado público, las herramientas y equipos utilizados para el mantenimiento, los equipos informáticos, programas computacionales especializados, vehículos, oficinas, entre otros.

La gestión de activos abarca un conjunto de actividades que permiten a una organización o empresa aprovechar al máximo sus activos durante todo su ciclo de vida. Las actividades incluyen el diseño, adquisición, construcción, instalación, operación, monitoreo, mantenimiento, renovación y desmantelamiento de infraestructura, máquinas, equipos u otro tipo de bienes (como se muestra en la figura Nro. 5). En la etapa del diseño se planifica y se define las características del activo, su ubicación, y otros aspectos. Luego, en la etapa de adquisición, se usan los recursos económicos necesarios para adquirir el bien. En las etapas de construcción e instalación se realizan las obras de edificación y montaje del activo en su ubicación prevista. Posteriormente, la fase de operación, monitoreo y mantenimiento asegura que el activo funcione de manera óptima y que se realicen las correcciones necesarias. Finalmente, en la etapa de renovación o desmantelamiento, se decide si el activo debe ser reparado o retirado de servicio. Este enfoque integral garantiza que los activos proporcionen el máximo valor durante toda su vida útil.

Figura Nro. 5: Principales actividades durante el ciclo de vida de un activo



En el sector eléctrico, la gestión de activos tiene un rol muy importante a largo, mediano, y corto plazo (Khuntia, Rueda, Bouwman, & van der Meijden, 2016). Un ejemplo de la gestión de activos a largo plazo es el diseño, adquisición, construcción, y conexión de una subestación de transmisión (500/230 kV), actividades que pueden tomar a una empresa varios años. La gestión de activos a mediano plazo incluye actividades de mantenimiento, como los mantenimientos preventivos y correctivos de una planta de generación eólica o de una subestación, los cuales pueden tomar varios meses. La gestión de activos a corto plazo se realiza en periodos que pueden durar varias semanas, días, o incluso en tiempo real, como el monitoreo en tiempo real de la temperatura de un transformador de potencia o de la vibración de la turbina de un aerogenerador.

## 2.3 Normas internacionales para la gestión de activos

La gestión de activos se realiza especialmente en industrias con una gran cantidad de activos, como la industria petrolera, de aviación y de transporte ferroviario. Debido a la importancia de esta actividad, la Organización Internacional para Estandarización (International Organization for Standardization, ISO) ha desarrollado tres normas muy importantes: ISO 55000, ISO 55001, e ISO 55002. Estas normas contienen principios, definiciones, guías y requisitos para implementar y mejorar estrategias para la gestión de activos en cualquier industria. Además, estas normas explican la importancia de que una organización defina las políticas y objetivos de la gestión de activos, las acciones para alcanzar los objetivos, y los activos que serán considerados.

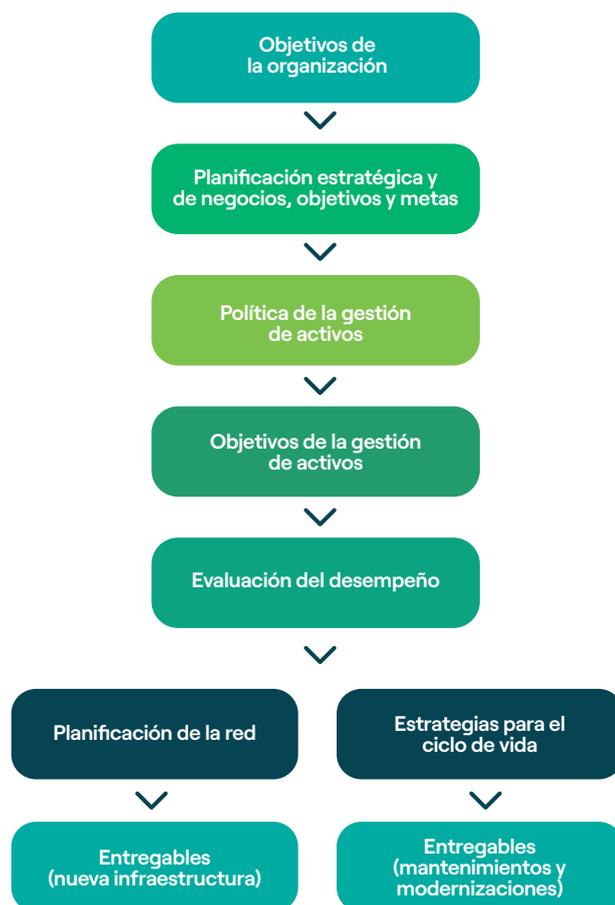
**Las organizaciones que adoptan las normas ISO 55000, ISO 55001, e ISO 55002 obtienen varios beneficios:** demuestran un control efectivo de sus activos, extienden la vida de éstos, y realizan programas de reemplazo o modernización más efectivos (NQA, 2021).

## 2.4 Sistema de gestión de activos

Implementar un sistema de gestión de activos alineado a las normas ISO mencionadas anteriormente en una empresa de generación, transmisión o distribución de energía eléctrica no es una tarea fácil. La empresa distribuidora MainPower New Zealand Limited implementó un sistema de gestión de activos alineándolo a sus metas organizacionales (figura Nro. 6); para ello, MainPower New Zealand Limited especificó las políticas y los objetivos para la gestión de sus activos, y los procesos y actividades que se deben ejecutar para alcanzar los objetivos planteados (MainPower New Zealand Limited, 2019).

La empresa distribuidora especificó las actividades que se realizarán en un periodo de 10 años (por ejemplo, inversión en nueva infraestructura, elaboración de planes de mantenimiento, ejecución de mantenimientos, reemplazo y desmantelamiento de equipos) y el área, dentro de la empresa, responsable de cada actividad. Además, MainPower New Zealand Limited cuenta con programas computacionales para la gestión de los mantenimientos, gestión de información de sus activos, y otras actividades importantes (MainPower New Zealand Limited, 2019).

**Figura Nro. 6:** Estrategia de MainPower New Zealand Limited para alinear la gestión de activos a sus objetivos organizacionales (MainPower New Zealand Limited, 2019)



National Grid, SP Energy Networks y UK Power Networks son empresas eléctricas que han logrado obtener la certificación de cumplimiento de la norma ISO 55001 (Asset management—Management systems—Requirements), a través de la evaluación de una entidad calificada (International Organization for Standardization, 2024).

## 2.5 Retiro de equipos: Importancia y estrategias

Como se mencionó al inicio del presente artículo y consta en la figura Nro. 5, el reemplazo de equipos u otra infraestructura que forman parte de un sistema eléctrico es también parte de la gestión de activos. En este contexto, equipos u otra infraestructura que han sobrepasado su tiempo de vida útil o cuya condición es deficiente son candidatos a ser reemplazados, con el fin de evitar posibles fallas durante su operación y que estos eventos ocasionen cortes de energía eléctrica, a pequeña y gran escala.

El problema de equipos e infraestructura eléctrica envejecida se presenta en varios países. En un estudio elaborado por el Departamento de Energía de Estados Unidos en el año 2015, se indica que, gran parte de los transformadores de potencia, líneas de transmisión y disyuntores que forman parte del sistema eléctrico han estado en servicio al menos 25 años (U.S. Department of Energy, 2015). Otro estudio elaborado en el año 2014 indica que, los transformadores de potencia de la red de 132 kV de London Power Networks han estado en servicio en promedio por 33 años (Stephen, 2014).

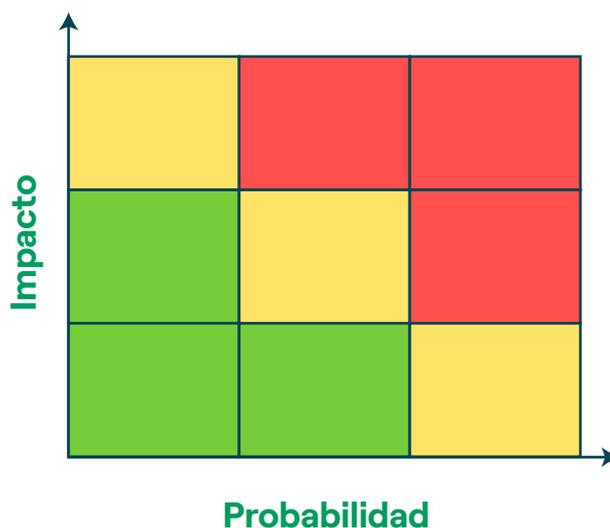
Las empresas de generación, transmisión, y distribución con una gran cantidad de equipos o infraestructura envejecida deberían planificar su reemplazo usando estrategias cuantitativas que permitan evaluar riesgos—especialmente si el costo de reemplazo es significativo; es decir, las estrategias deberían determinar la probabilidad de falla de fin de vida de un equipo y el impacto económico de una posible falla en el sistema eléctrico.

Una estrategia ampliamente utilizada es la matriz de riesgos (Bertling Tjernberg, 2018). La figura Nro. 7 muestra una matriz de riesgo, donde el eje horizontal representa la probabilidad de falla y el eje vertical representa

el impacto de dicha falla. Los colores en la matriz indican los niveles de riesgo: verde para bajo riesgo, amarillo para riesgo moderado y rojo para alto riesgo. Esta herramienta visual ayuda a las empresas a priorizar las acciones de mantenimiento y reemplazo, enfocándose primero en los equipos que se encuentran en las áreas de mayor riesgo (zona roja). Los equipos con alta probabilidad de falla y alto impacto se ubican en las zonas rojas de la matriz.

Estas estrategias requieren el desarrollo de modelos matemáticos y la recopilación de información histórica de fallas y/o condición de los equipos, costos de reparación, etc. Además, debido a que las empresas eléctricas tienen presupuestos limitados, las estrategias deberían identificar los equipos cuyo reemplazo es prioritario, para minimizar el riesgo de interrupciones significativas y optimizar el uso de recursos disponibles.

**Figura Nro. 7:** Ejemplo de matriz de riesgo (Bertling Tjernberg, 2018)



## 2.6 Conclusiones

01

El sector eléctrico está experimentando cambios muy importantes, como la creciente incorporación de generación renovable intermitente, vehículos eléctricos, y sistemas de almacenamiento de energía, y, además, en algunos países, muchos equipos e infraestructura importante están acercándose o ya han superado su vida útil.

02

Estos cambios resaltan la importancia de que las empresas del sector eléctrico implementen un sistema de gestión de activos eficaz. Este sistema debe permitirles aprovechar al máximo su capacidad de generación, almacenamiento y transporte de energía eléctrica, y operar su infraestructura con un nivel alto de confiabilidad. Los sistemas de gestión de activos deben incluir estrategias cuantitativas para la evaluación de riesgos y para priorizar actividades de mantenimiento y reemplazo de equipos.

03

Sin embargo, la implementación de un sistema de gestión de activos sigue siendo un gran desafío para muchas empresas del sector, que puede tomar varios años.

## 2.7 Referencias

Khuntia, S., Rueda, J. L., Bouwman, S., & van der Meijden, M. (2016). A literature survey on asset management in electrical power [transmission and distribution] system. International Transactions on Electrical Energy Systems.

NQA. (2021). Guide to Asset Management (ISO 55001).

MainPower New Zealand Limited. (2019). Asset Management Plan 2019-2029.

International Organization for Standardization. (21 de 06 de 2024). Obtenido de ISO/TC 251 Asset Management:

<https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/known-certified-organizations.html>

U.S. Department of Energy. (2015). Quadrennial technology review 2015.

Stephen, A. (2014). Asset stewardship report, 2014.

Bertling Tjernberg, L. (2018). Infrastructure Asset Management with Power System Applications. Taylor & Francis Group, LLC.

IAM. (21 de 06 de 2024). Obtenido de <https://theiam.org>

---

## 2.8 Autor



**Wilson Vásquez, PhD**

Profesional, DRTSE,  
ARCERNR

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



Agencia de Regulación y Control de Energía  
y Recursos Naturales No Renovables

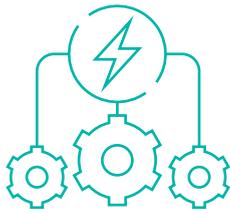
PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

CAPÍTULO

# 03

**Autonomía  
Energética:** Cómo  
la Generación Local  
puede impulsar el  
Sistema Eléctrico  
Ecuatoriano





## Autonomía Energética: Cómo la Generación Local puede impulsar el Sistema Eléctrico Ecuatoriano

**Mauricio Soria**  
Magíster en Electricidad

**Christian Soria**  
Magíster en Urbanismo

### 3.1 Antecedentes

Ecuador atraviesa por una época de recesión energética. Como ciudadanos, podemos contribuir desde el ahorro de energía hasta la generación local. Alcanzar la eficiencia energética implica implementar una serie de medidas pasivas y activas.

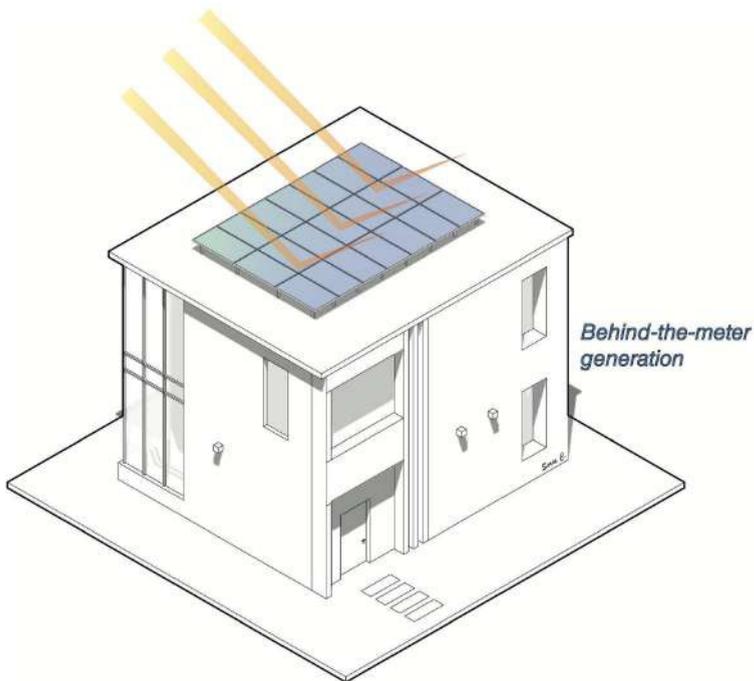
En el contexto energético nacional, es crucial reducir el consumo final de energía. Para ello, se pueden integrar en nuestras edificaciones sistemas que permitan aminorar el consumo energético. Algunas estrategias para alcanzar este objetivo incluyen el uso de electrodomésticos con tecnologías innovadoras y eficientes, el incremento de áreas con iluminación y ventilación natural para disminuir el uso de luminarias y de equipos de climatización, la instalación de equipos eléctricos y luminarias de alta eficiencia, y la incorporación de sensores en los espacios habitables para el encendido de luminarias.

Además, se pueden adoptar estrategias activas para la autogeneración de energía, aprovechando fuentes renovables. La generación de energía eléctrica en el propio hogar, negocio, o en corporaciones y empresas, es muy beneficiosa para disponer de autonomía energética, reducir los costos por el consumo de electricidad e incluso contribuir con la generación de energía en las redes eléctricas del país.

La instalación de paneles fotovoltaicos es una alternativa viable para la generación de energía debido a su costo decreciente, la disponibilidad de tecnología avanzada y su capacidad para aprovechar la radiación solar en Ecuador (figura Nro. 8). Cuanto mayor sea el área disponible para instalar paneles fotovoltaicos, mayor será la factibilidad de generación. A esta alternativa se suma la posibilidad de instalar un banco de baterías, logrando así un ciclo de generación y almacenamiento de energía mucho más completo.



**Figura Nro. 8:** Ejemplo de generación local fotovoltaica



La generación distribuida se constituye como una fuente de energía eléctrica, basada por lo general, en recursos renovables, y cuya principal ventaja es la de encontrarse cerca de los consumidores. Con la tecnología actual y los recursos energéticos disponibles, la generación distribuida se ha expandido significativamente a lo largo de los años. Hoy en día, es posible instalar una micro central fotovoltaica en casa para lograr autonomía energética, convirtiendo al consumidor en prosumidor.

**Se deben considerar varios aspectos para proceder con este propósito. Entre los más importantes están:**

- ✓ ¿Cuántos paneles y cuánta potencia necesito para cubrir la demanda de energía de mi hogar o negocio?
- ✓ ¿Necesito generar para cubrir únicamente la demanda de mi hogar o puedo contribuir con generación hacia la red eléctrica?

- ✓ ¿Cuáles son las reglamentaciones que rigen este tipo de generación y cómo debo cumplirlas?
- ✓ ¿Cuál es la inversión de este proyecto y cuál es el costo nivelado de la energía eléctrica que generará?



**A estas preguntas se suman otras consideraciones técnicas para validar la factibilidad del proyecto como, por ejemplo:**

- ✓ ¿Cuál es el área disponible para instalar paneles fotovoltaicos en mi hogar o negocio?
- ✓ ¿Cuál es la trayectoria del sol y cuánta radiación recibo en mi ubicación geográfica?
- ✓ ¿Existe algún riesgo de que el área expuesta para la generación de energía sea cubierta por otra construcción?
- ✓ ¿Qué empresas me pueden brindar el servicio para la instalación de un sistema fotovoltaico?

Estas preguntas deben ser abordadas con la ayuda de profesionales del sector. Esto garantizará un producto de calidad y eficiencia. Sin embargo, aquellos interesados en incursionar en esta opción de autonomía energética pueden comenzar por su cuenta con algunos estudios preliminares que les ayuden a tomar una decisión informada.

## 3.2 Estudios preliminares

Las alternativas que se presentan a continuación corresponden a una propuesta de estudios preliminares para ayudar en la toma de decisiones y en las validaciones posteriores de los estudios eléctricos y energéticos. Estos estudios se presentarán paulatinamente en esta y las siguientes ediciones de la revista.

**El objetivo es lograr una cierta autonomía energética y no ser completamente dependiente de la energía suministrada por las empresas eléctricas.** Si bien, llevar a cabo un proyecto completamente autónomo puede ser más costoso y en ocasiones inviable, en muchos casos es posible reducir el consumo energético gracias a la generación local.

Primero, es importante analizar la normativa vigente y las opciones disponibles para instalar la generación local deseada. En Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables proporciona un mapa normativo para conocer la reglamentación actual en cada ámbito del sector eléctrico ecuatoriano, incluyendo la generación distribuida. La Regulación Nro. ARCERNR 008/23 aborda la temática para el autoabastecimiento de consumidores regulados.

Además, en esta regulación es posible revisar la caracterización y dimensionamiento de los Sistemas de Generación Distribuida para Autoabastecimiento (SGDA), las modalidades de autoabastecimiento y cómo se llevan a cabo los procedimientos de instalación, operación y medición en conjunto con las empresas de distribución de energía eléctrica. Estas definiciones preliminares son trascendentales, ya que la capacidad del SGDA que se puede instalar depende de la decisión de inyectar o no energía a las redes eléctricas, del nivel de voltaje de la conexión y de las posibles afectaciones que se presenten en la red de distribución.

Una vez determinada la modalidad de generación local conforme a los aspectos reglamentarios es importante definir los equipos que cumplan con los requisitos

técnicos operativos para SGDA menor o mayor a 1 MW, conforme la regulación, y los proveedores que ofrecen estos equipos. Definida la caracterización técnica y la modalidad de generación, es necesario familiarizarse con los procedimientos necesarios para obtener el permiso de conexión. Esta familiarización permite conocer a detalle los documentos y equipos auxiliares requeridos para llevar a cabo las pruebas de instalación y operación del SGDA.

Con la definición preliminar de los aspectos técnicos y regulatorios, se puede llevar a cabo un análisis probabilístico para estimar la generación eléctrica del SGDA y realimentar la toma de decisiones para optimizar la potencia requerida si se desea o no inyectar energía eléctrica a la red. Para tal efecto, siempre es importante contar con mediciones, aunque también es posible emplear una estimación de estas.

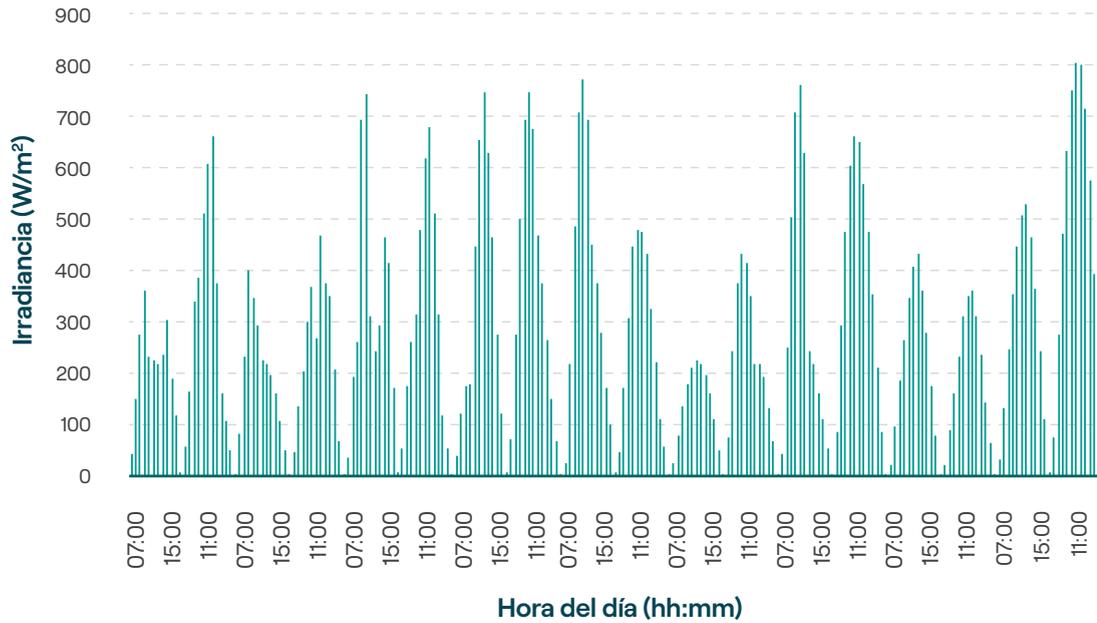
Para tomar las mediciones de la radiación solar se puede emplear un piranómetro, un pirenómetro o un equipo similar (Figura Nro. 9). También es importante tomar mediciones de la temperatura del lugar. Creando un registro de los datos medidos a intervalos regulares se tendrá una serie de tiempo del comportamiento de la radiación en un determinado lugar para una cierta estacionalidad (considerar altura, humedad y presión atmosférica del lugar de la medición). Los datos de la radiación solar se pueden obtener también de estaciones meteorológicas, mapas y bases de datos climáticos.

**Figura Nro. 9:** Piranómetro [1].

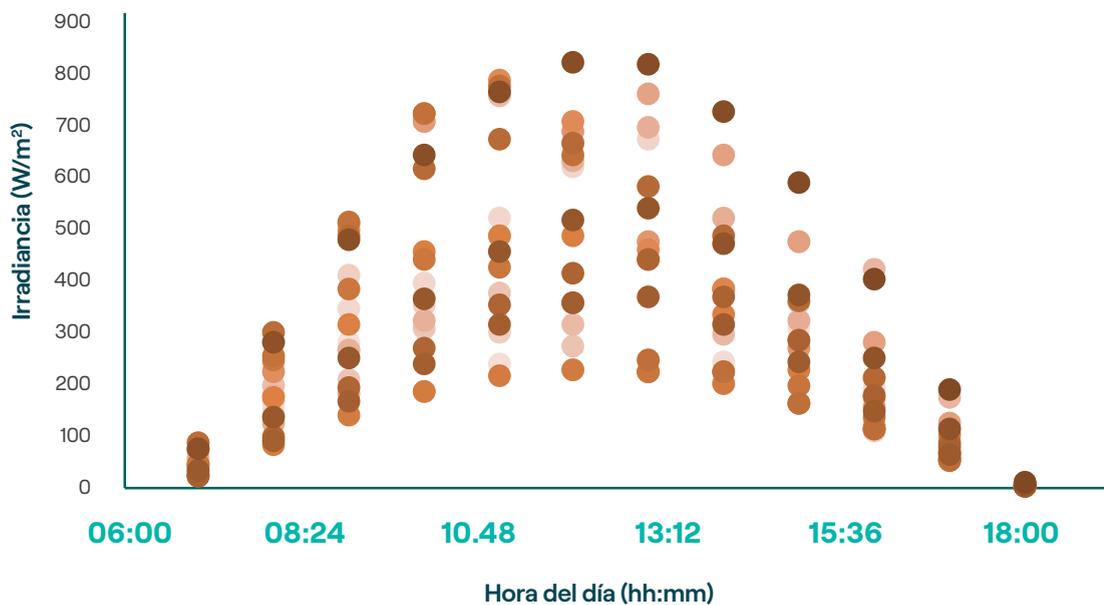


Además, es posible estimar datos de irradiancia a partir de información publicada o disponible en los centros autorizados. Basado en información de [2], la figura Nro. 10 presenta parte de una serie temporal de la radiación solar en Quito cuya muestra contiene dieciocho días del mes de junio de 2024. La figura Nro. 11 presenta la intermitencia de la irradiancia a través de la dispersión de los datos.

**Figura Nro. 10:** Parte de una serie temporal de radiación solar en Quito

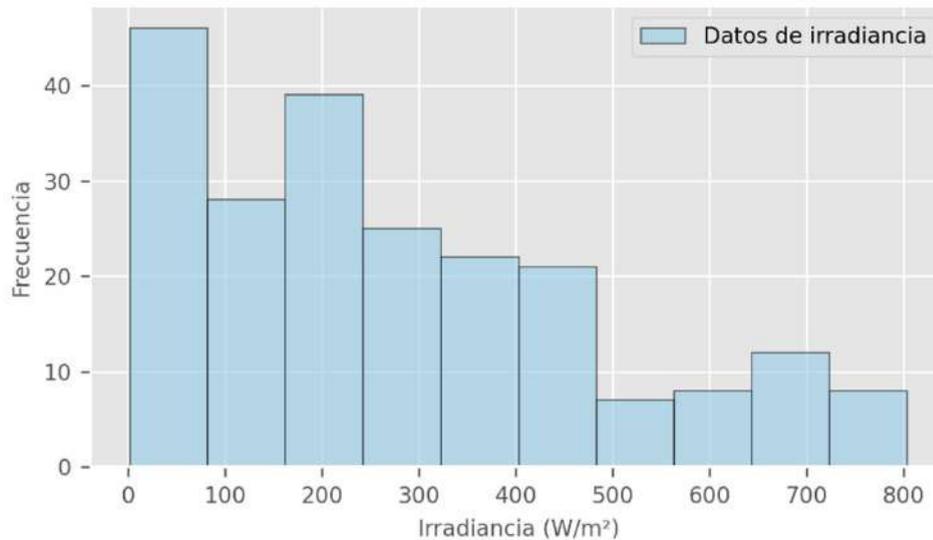


**Figura Nro. 11:** Dispersión de datos de irradiancia durante el mismo periodo de tiempo



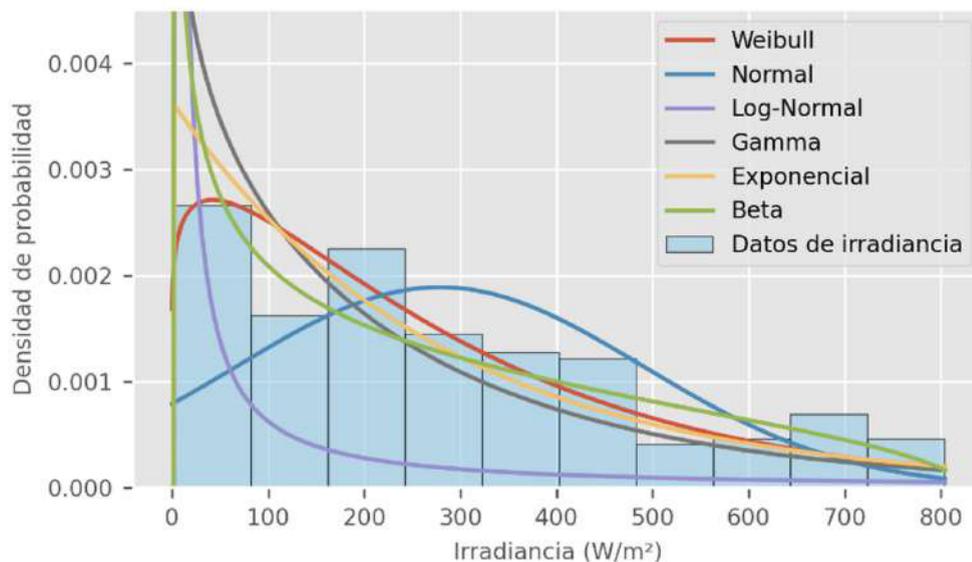
Para realizar la estimación de datos, se emplea un modelo de distribución de probabilidad, para lo cual, se debe evaluar el ajuste del mejor modelo a los datos base. En la figura Nro. 12 se presenta un histograma con la frecuencia de la irradiancia en  $W/m^2$  de los datos base.

**Figura Nro. 12:** Histograma de irradiancia  $W/m^2$



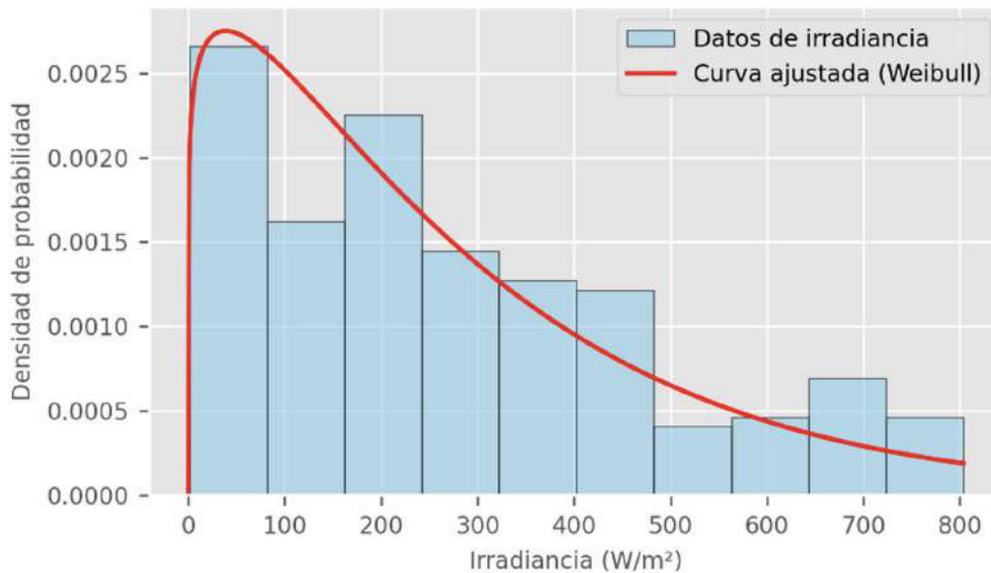
Se pueden evaluar varios modelos de distribución como la Normal, Log-Normal, Weibull, Gamma, Beta, Exponencial, entre otros, para ajustar la estimación de datos de la irradiancia. Para determinar qué modelo se ajusta mejor a los datos, se recomienda utilizar la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. La figura Nro. 13 presenta un ejemplo comparativo de estos modelos aplicados a los datos de irradiancia.

**Figura Nro. 13:** Ajuste de modelos de distribución de probabilidad a los datos de irradiancia



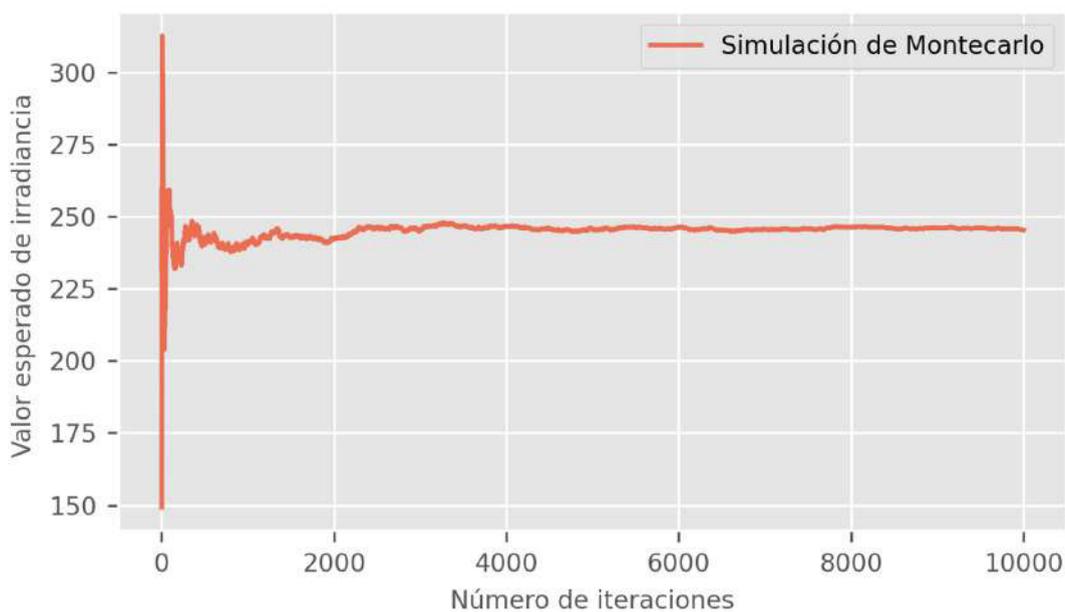
Finalmente, conforme a la prueba de bondad de ajuste empleada, en este caso se selecciona la distribución de Weibull como la más adecuada para la estimación de datos de irradiancia, como se muestra en la figura Nro. 14, con ello, se pueden generar datos estimados de la irradiancia del lugar donde se desea llevar a cabo el proyecto de generación local fotovoltaica.

**Figura Nro. 14:** Modelo de distribución de Weibull ajustado a los datos de irradiancia



La simulación de Montecarlo permite obtener el valor más probable de la irradiancia en el lugar de análisis. Para ello, se llevan a cabo 10.000 simulaciones hasta que se estabiliza el valor de la irradiancia en el valor esperado, como se presenta en la figura Nro. 15.

**Figura Nro. 15:** Simulación de Montecarlo aplicado al modelo de distribución de la irradiancia

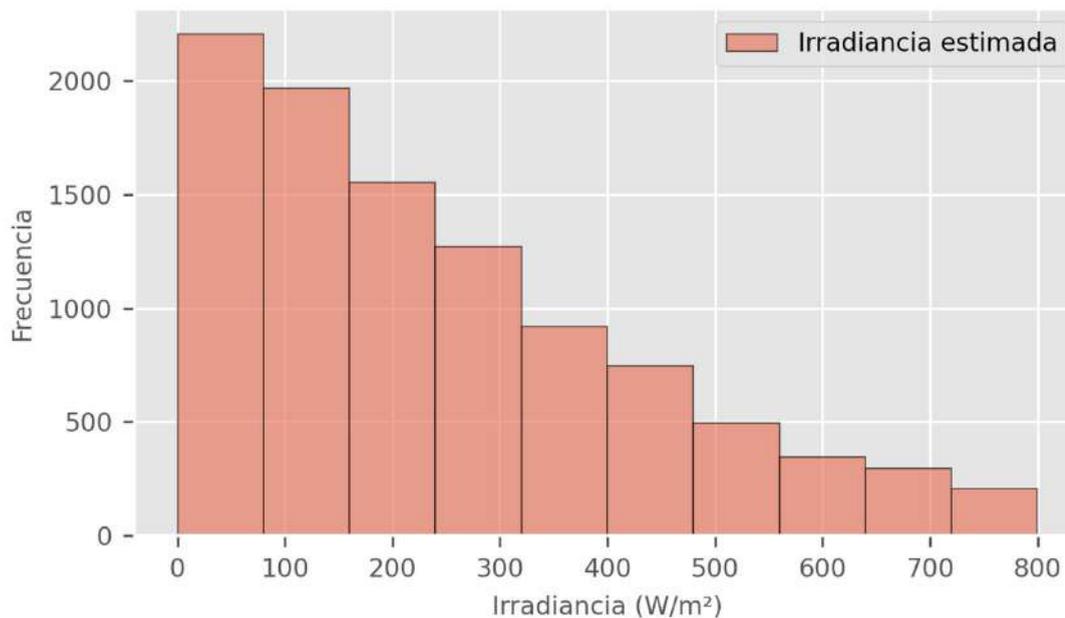


### El valor más probable de irradiancia en el lugar de análisis corresponde a: 245,53 W/m<sup>2</sup>

Este valor se utiliza en el procedimiento de una optimización estocástica y representa la irradiancia esperada a lo largo del día, teniendo en cuenta la intermitencia causada por el paso de nubes.

Asimismo, al aplicar la simulación de Montecarlo al modelo de distribución de la irradiancia, previamente ajustado, se obtiene la estimación de los valores de la irradiancia en el lugar de análisis para el transcurso de un día, como se muestra en la figura Nro. 16.

**Figura Nro. 16:** Modelo de distribución de Weibull ajustado a los datos de irradiancia



Los valores estimados de irradiancia son generados gracias al modelo de distribución ajustado, y son similares a los datos reales del histograma de irradiancia (figura Nro. 12). Estos valores servirán para llevar a cabo simulaciones probabilísticas y para evaluar la dinámica del sistema a largo plazo, que involucra también a todas las demás variables dinámicas del sistema eléctrico al cual se desea conectar la generación local.

## 3.2.1 Conclusiones y Recomendaciones

01

La aplicación de estrategias pasivas de eficiencia energética en las edificaciones es de suma importancia para reducir el consumo de energía. El implementar sistemas y equipos con estándares actuales de eficiencia y sostenibilidad aporta de forma concreta con el ahorro de energía eléctrica.

---

02

La generación distribuida presenta como principal ventaja el encontrarse cerca de los consumidores, evitando pérdidas de energía y reduciendo los costos por el consumo de electricidad e incluso contribuyendo con la generación de energía en las redes eléctricas del país.

---

03

La medición, así como, la estimación de parámetros se convierte en un input necesario para los estudios eléctricos y energéticos con la finalidad de obtener resultados adecuados y cercanos a la realidad del lugar, donde se desea llevar a cabo el proyecto de generación local.

---

04

La generación eléctrica basada en fuentes renovables como la radiación solar o la velocidad del viento presenta un alto grado de incertidumbre, por lo que, trabajar con modelos de distribución de probabilidad y métodos para análisis variacionales como la simulación de Montecarlo, permite considerar el factor de incertidumbre de una manera más acertada.

---

05

Finalmente, contar con las herramientas y análisis preliminares permitirá tomar las mejores decisiones para llevar a cabo el proyecto y los estudios de factibilidad necesarios para llegar a la autonomía energética, o en parte, para reducir el consumo de energía a través de la generación local (behind-the-meter generation).

---

06

Se recomienda desarrollar e implementar estaciones meteorológicas en puntos estratégicos de las ciudades para disponer de información calificada sobre mediciones de las principales variables climatológicas que servirán para el desarrollo de proyectos energéticos a pequeña y gran escala.

### 3.2.2 Referencias Bibliográficas

[1] Hukseflux Thermal Sensors, "Typical pyranometer for measurement of global solar radiation," CC BY 4.0, via Wikimedia Commons, noviembre 2012. [En línea]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SR20\\_pyranometer\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SR20_pyranometer_2.jpg)

[2] Tutiempo Network, S.L., "Solar radiation in Quito," TuTiempo.net, junio 2024. [En línea]. Disponible en: <https://en.tutiempo.net/solar-radiation/quito.html>

### 3.3 Autores



**Mauricio Soria**

Magíster en Electricidad



**Christian Soria**

Magíster en Urbanismo



PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

# 04

**Visión Artificial  
para la Extracción  
de Información en  
Imágenes**





# Visión Artificial para la Extracción de Información en Imágenes

**Ing. Bryan Mayorga**  
M.Sc.  
Departamento de Distribución  
EEASA.

## 4.1 Resumen

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA) enfrenta desafíos en la administración de datos no estructurados, como textos, fotografías y documentos escaneados, que constituyen una parte significativa de su base de información. Para abordar este problema, se propone la adopción de técnicas de visión artificial para llevar a cabo el reconocimiento óptico de caracteres (OCR) en estos documentos. La metodología abarca etapas como preprocesamiento, detección, reconocimiento y postprocesamiento de texto. Los resultados obtenidos revelan una precisión que oscila entre el 65% y el 91% en diversos contextos de aplicación, tales como la identificación de textos en etiquetas de postes, pozos subterráneos, placas de vehículos y facturas. Estos hallazgos evidencian el potencial de estas técnicas y señalan áreas con oportunidades de mejora.

## 4.2 Introducción

La gestión eficiente de la información es fundamental para las empresas modernas, y la EEASA no es una excepción. En un entorno donde los datos no estructurados representan una porción significativa del volumen total de información, es necesario adoptar tecnologías que permitan extraer, analizar y organizar estos datos de manera efectiva. La visión artificial ofrece una solución prometedora al utilizar técnicas de reconocimiento de patrones y aprendizaje automático para automatizar el proceso de extracción de texto de imágenes.



### 4.3 Problemática

La EEASA posee una cantidad significativa de datos no estructurados, incluidos textos, fotografías y documentos escaneados, que no siguen un esquema o formato predefinido, esto dificulta su análisis y organización. Estos datos representan entre una cuarta y una tercera parte del volumen total de la base de datos. La extracción de información útil de estos datos es compleja debido a su naturaleza inconsistente e incompleta. La búsqueda manual de imágenes o textos antiguos consume mucho tiempo, obligando al personal a dedicar numerosas horas anuales a esta tarea.

### 4.4 Justificación

Es necesario reducir el tiempo dedicado a la extracción de datos no estructurados para disminuir las horas invertidas por el personal humano. Implementar algoritmos de visión artificial permitirá realizar el reconocimiento óptico de caracteres en fotografías y textos escaneados de manera sistematizada.

### 4.5 Alcance

Este estudio propone el uso de herramientas de código abierto en Python para desarrollar e implementar los siguientes pasos:



Convertir las imágenes a escala de grises, binarizarlas, reducir el ruido y ajustar el grosor de las fuentes para facilitar el reconocimiento de texto.



Utilizar el modelo entrenado Tesseract basado en redes neuronales para identificar y extraer texto de las imágenes.



Refinar el texto extraído mediante corrección ortográfica y gramatical.



### 4.6 Objetivo

Mejorar el acceso a la información de la EEASA mediante la implementación de técnicas de visión artificial utilizando Tesseract para automatizar la extracción de texto de imágenes.

## 4.7 Marco Teórico y estado del arte

### 4.7.1 Datos estructurados

Estos datos están organizados en un formato predefinido de filas y columnas, como los utilizados en hojas de cálculo o bases de datos. Ejemplos incluyen números, fechas y combinaciones de palabras y números, generalmente almacenados en formato tabular. Estos datos son objetivos y no están sujetos a interpretación.

### 4.7.2 Datos no estructurados

A diferencia de los estructurados, los datos no estructurados no siguen un formato predefinido. Pueden ser textuales (informes, correos electrónicos, notas, respuestas a encuestas) o multimedia (fotografías, videos, audio). Aunque pueden tener alguna estructura implícita, no se ajustan al modelo de filas y columnas requerido por la mayoría de los sistemas de bases de datos.

### 4.7.3 Visión Artificial

La visión artificial es un campo de la inteligencia artificial (IA) que permite a los ordenadores y sistemas extraer información significativa a partir de imágenes digitales, videos y otras entradas visuales, y tomar medidas o realizar recomendaciones en función de esa información. Si la IA permite a los ordenadores pensar, la visión artificial les permite ver, observar y comprender [1].

La visión artificial como concepto se remonta a la década de 1930 [2], aunque algunos inventos y descubrimientos clave para su desarrollo tienen raíces mucho más antiguas. El objetivo principal de la visión artificial es desarrollar estrategias automáticas para el reconocimiento de patrones complejos en imágenes de múltiples dominios. Hoy en día, muchos campos se han beneficiado de estas técnicas [3]:

-  **Robótica:** Los robots autónomos utilizan visión artificial para reconocer la localización de objetos y evitar colisiones.
-  **Control de calidad automático:** Detección de anomalías en piezas o procesos de producción.
-  **Imagen médica:** Sistemas que reconocen patrones patológicos en imágenes y diagnostican enfermedades automáticamente.
-  **Sistemas de seguridad:** Seguimiento de objetos y vigilancia.
-  **Conducción autónoma:** Análisis de imágenes de satélites y aéreas.
-  **Ocio y aplicaciones profesionales:** Derivadas de la presencia de cámaras digitales en dispositivos móviles.

## 4.7.4 Extracción de textos

En la era de la digitalización, almacenar, editar, indexar y encontrar información en documentos digitales es significativamente más sencillo que buscar manualmente entre documentos impresos. La búsqueda de información en documentos no digitalizados, especialmente si son voluminosos, consume mucho tiempo y conlleva el riesgo de perder información. La extracción de texto de imágenes ha encontrado numerosas aplicaciones, como el reconocimiento de pasaportes, el reconocimiento automático de matrículas, la conversión de textos manuscritos a texto digital y la digitalización de texto mecanografiado [4].

Las técnicas de detección de texto localizan el texto en una imagen y crean un cuadro delimitador alrededor de la sección que contiene el texto. Una vez identificados estos cuadros, el siguiente paso es reconocer el texto. Una de las técnicas más utilizadas para el reconocimiento de texto es la Red Neuronal Recurrente Convolutiva (CRNN), que combina CNN (Red Neuronal Convolutiva), RNN (Red Neuronal Recurrente) y CTC (Clasificación Temporal Conexiónista): [5]:



### CNN:

Extrae características espaciales de la imagen de entrada.



### RNN:

Predice la secuencia de etiquetas, manteniendo relaciones entre los caracteres.



### CTC:

Convierte la secuencia por fotogramas generada por la RNN en una secuencia de etiquetas.

Una variante de las RNN es la Long Short-Term Memory (LSTM). Las LSTM están diseñadas para superar las limitaciones de las RNN tradicionales al abordar el problema del desvanecimiento del gradiente. Esto les permite aprender dependencias a largo plazo en los datos de entrada, lo que es útil para tareas de reconocimiento de texto donde la secuencia y el contexto de los caracteres son importantes. Las LSTM utilizan una estructura de celdas con puertas que regulan el flujo de información, permitiendo que la red retenga información relevante durante largos períodos y desechando la información no relevante. La combinación de redes neuronales convolucionales para la extracción de características y LSTM para el modelado de secuencias permite un mejor rendimiento en tareas de OCR [6].

## 4.7.5 Tesseract

Tesseract es un motor OCR de código abierto desarrollado inicialmente por HP y mejorado por Google desde 2006 [7]. Disponible bajo la licencia Apache 2.0, puede extraer texto de imágenes directamente o mediante una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), admitiendo una amplia variedad de idiomas. Aunque carece de una interfaz gráfica de usuario (GUI) integrada, existen varias opciones disponibles. Compatible con numerosos lenguajes de programación y marcos de trabajo, Tesseract utiliza redes neuronales LSTM para mejorar la precisión del reconocimiento de texto. Este enfoque permite que Tesseract procese imágenes dividiéndolas en cajas (rectángulos) y analizándolas línea por línea, lo que mejora significativamente el rendimiento del OCR. Sin embargo, presenta desafíos con textos manuscritos y fuentes inusuales. Las LSTM son eficaces para aprender secuencias largas, aunque su rendimiento puede disminuir si el número de estados es excesivo.

## 4.7.6 Pytesseract

Pytesseract es una biblioteca de Python que actúa como envoltorio para Tesseract, facilitando su uso en lenguajes de programación. Permite extraer texto de imágenes y convertirlo en formatos editables y con capacidad de búsqueda siendo útil para la entrada de datos automatizada y la digitalización de documentos. Compatible con tipos de imagen soportados por las bibliotecas Pillow y Leptonica, Pytesseract simplifica la integración de funcionalidades OCR en aplicaciones Python [8].

## 4.8 Metodología e Implementación

La metodología se basa en los siguientes pasos explicados a continuación:

### 4.8.1 Carga de imagen

El primer paso consiste en cargar las imágenes desde el sistema de almacenamiento. En la figura Nro. 17 se presenta un ejemplo del código en Python utilizando PIL [8] para la carga de imágenes y matplotlib [9] para la visualización.

**Figura Nro. 17:** Código de carga de imagen

```
from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
ruta_imagen = './Data/imagen.jpg'
def cargar_imagen(ruta_imagen):
    imagen = Image.open(ruta_imagen)
    plt.imshow(imagen)
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return imagen
```

La figura Nro. 18 muestra un ejemplo de cómo se carga y visualiza una imagen de un documento escaneado de un periódico local.

**Figura Nro. 18:** Carga y visualización de imagen utilizando PIL y Matplotlib

Los trabajos de remodelación de redes eléctricas; mejoramiento y ampliación de alumbrado público se cumple en la parroquia Izamba. La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (Eeasa) invierte aproximadamente 500 mil dólares. La obra beneficiará a 12 mil habitantes del sector. Las tareas consisten en el cambio de red monofásica a red trifásica con cable preensamblado, reubicación de redes (aquellas que se encuentran en terrenos privados) a la vía pública y la instalación de 300 luminarias LED. Además, esta obra brindará atención de cobertura de servicios a las nuevas urbaniza-

ciones y a los clientes comerciales, industriales y artesanales del sector Norte de la ciudad. La obra inició los primeros días de mayo del 2024. Al momento tiene plazo de ejecución de 210 días, su avance es del 20 por ciento. Los trabajos se ejecutan con las respectivas normas de seguridad y permisos ambientales. La remodelación de redes eléctricas de Izamba, se enmarca en los ejes de gestión: calidad del servicio eléctrico que permite garantizar la continuidad y calidad del suministro; y, mejoramiento y ampliación de alumbrado público, ligado a la seguridad ciudadana. (1)

## 4.8.2 Preprocesamiento

El preprocesamiento de la imagen permite mejorar el reconocimiento de texto. Este proceso incluye:

### 4.8.2.1 Conversión a escala de grises

La conversión de la imagen a escala de grises reduce la cantidad de información y se centra en la intensidad de los píxeles, lo que facilita el procesamiento posterior. Para esta tarea, se utiliza la función `cv2.cvtColor` [9] de la biblioteca OpenCV. En la figura Nro. 19 se muestra un ejemplo de código en Python que realiza esta conversión.

**Figura Nro. 19:** Código de conversión a escala de grises

```
import cv2
def convertir_a_grises(imagen):
    imagen_grises = cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    plt.imshow(imagen_grises, cmap='gray')
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return imagen_grises
```

La figura Nro. 20 muestra la imagen convertida a escala de grises.

**Figura Nro. 20:** Conversión a escala de grises de la imagen

Los trabajos de remodelación de redes eléctricas; mejoramiento y ampliación de alumbrado público se cumple en la parroquia Izamba. La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (Eeasa) invierte aproximadamente 500 mil dólares. La obra beneficiará a 12 mil habitantes del sector.

Las tareas consisten en el cambio de red monofásica a red trifásica con cable preensamblado, reubicación de redes (aquellas que se encuentran en terrenos privados) a la vía pública y la instalación de 300 luminarias LED. Además, esta obra brindará atención de cobertura de servicios a las nuevas urbaniza-

ciones y a los clientes comerciales, industriales y artesanales del sector Norte de la ciudad.

La obra inició los primeros días de mayo del 2024. Al momento tiene plazo de ejecución de 210 días, su avance es del 20 por ciento. Los trabajos se ejecutan con las respectivas normas de seguridad y permisos ambientales.

La remodelación de redes eléctricas de Izamba, se enmarca en los ejes de gestión: calidad del servicio eléctrico que permite garantizar la continuidad y calidad del suministro; y, mejoramiento y ampliación de alumbrado público, ligado a la seguridad ciudadana. (I)

### 4.8.2.2 Eliminación de ruido

La eliminación de ruido mejora la calidad del texto reconocido. Se utiliza el filtrado de mediana para suavizar la imagen sin perder detalles importantes. En la figura Nro. 21 se muestra un ejemplo de la implementación de un filtro de mediana [10] utilizando OpenCV.

**Figura Nro. 21:** Código de eliminación de ruido

```
def eliminar_ruido(imagen_grises):
    imagen_sin_ruido = cv2.medianBlur(imagen_grises, 3)
    plt.imshow(imagen_sin_ruido, cmap='gray')
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return imagen_sin_ruido
```

La figura Nro. 22 muestra la imagen después de la eliminación de ruido.

**Figura Nro. 22:** Eliminación de ruido utilizando filtro de mediana



### 4.8.2.3 Binarización

Convierte la imagen a blanco y negro, destacando las áreas de texto y simplificando la imagen a dos colores, lo que facilita la detección del texto. Para realizar la binarización, se utiliza la función cv2.threshold [11] de OpenCV. En la figura Nro. 23 se muestra un ejemplo de código en Python.

**Figura Nro. 23:** Código de binarización

```
def binarizar_imagen(imagen_sin_ruido):
    _, binaria = cv2.threshold(imagen_sin_ruido, 175, 255, cv2.THRESH_BINARY)
    plt.imshow(binaria, cmap='gray')
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return binaria
```

La figura Nro. 24 muestra la imagen binarizada, donde se destacan las áreas de interés.

**Figura Nro. 24:** Binarización de la imagen

Los trabajos de remodelación de redes eléctricas; mejoramiento y ampliación de alumbrado público se cumple en la parroquia Izamba. La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (Eeasa) invierte aproximadamente 500 mil dólares. La obra beneficiará a 12 mil habitantes del sector.

Las tareas consisten en el cambio de red monofásica a red trifásica con cable preensamblado, reubicación de redes (aquellas que se encuentran en terrenos privados) a la vía pública y la instalación de 300 luminarias LED. Además, esta obra brindará atención de cobertura de servicios a las nuevas urbanizaciones y a los clientes comerciales, industriales y artesanales del sector Norte de la ciudad.

La obra inició los primeros días de mayo del 2024. Al momento tiene plazo de ejecución de 210 días, su avance es del 20 por ciento. Los trabajos se ejecutan con las respectivas normas de seguridad y permisos ambientales.

La remodelación de redes eléctricas de Izamba, se enmarca en los ejes de gestión: calidad del servicio eléctrico que permite garantizar la continuidad y calidad del suministro; y, mejoramiento y ampliación de alumbrado público, ligado a la seguridad ciudadana. (1)

### 4.8.2.4 Ajuste del grosor de las fuentes

El ajuste del grosor de las fuentes mejora la legibilidad del texto mediante técnicas de morfología matemática para dilatar o erosionar los caracteres según sea necesario. Para ello, se utiliza una operación morfológica de cierre (MORPH\_CLOSE) [12] de OpenCV. En la figura Nro. 25, se muestra un ejemplo de código en Python:

**Figura Nro. 25:** Código de ajuste del grosor de las fuentes

```
def ajustar_grosor(binaria):
    kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_RECT, (2,2))
    grosor_ajustado = cv2.morphologyEx(binaria, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
    plt.imshow(grosor_ajustado, cmap='gray')
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return grosor_ajustado
```

La figura Nro. 26, muestra la imagen después del ajuste del grosor de las fuentes mediante operaciones morfológicas.

**Figura Nro. 26:** Ajuste del grosor de las fuentes mediante operaciones morfológicas

Los trabajos de remodelación de redes eléctricas; mejoramiento y ampliación de alumbrado público se cumple en la parroquia Izamba. La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (Eeasa) invierte aproximadamente 500 mil dólares. La obra beneficiará a 12 mil habitantes del sector. Las tareas consisten en el cambio de red monofásica a red trifásica con cable preensamblado, reubicación de redes (aquellas que se encuentran en terrenos privados) a la vía pública y la instalación de 300 luminarias LED. Además, esta obra brindará atención de cobertura de servicios a las nuevas urbanizaciones y a los clientes comerciales, industriales y artesanales del sector Norte de la ciudad. La obra inició los primeros días de mayo del 2024. Al momento tiene plazo de ejecución de 210 días, su avance es del 20 por ciento. Los trabajos se ejecutan con las respectivas normas de seguridad y permisos ambientales. La remodelación de redes eléctricas de Izamba, se enmarca en los ejes de gestión: calidad del servicio eléctrico que permite garantizar la continuidad y calidad del suministro; y, mejoramiento y ampliación de alumbrado público, ligado a la seguridad ciudadana. (1)

### 4.8.3 Reconocimiento de texto

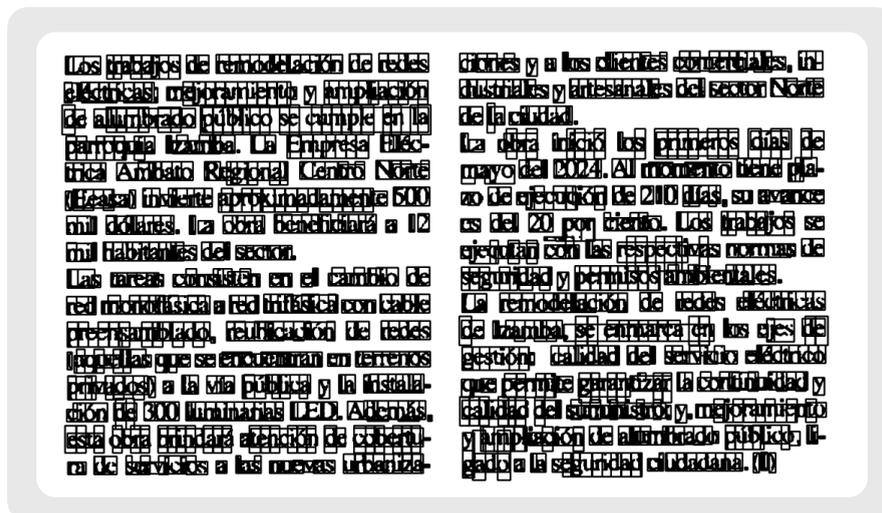
El reconocimiento de texto se realiza utilizando redes neuronales LSTM para identificar y extraer texto de las imágenes preprocesadas. En este caso, se utiliza la biblioteca Tesseract [13] con la configuración LSTM y segmentación de párrafos. Tesseract se configura utilizando la biblioteca pytesseract para optimizar la detección de texto en español. En la figura Nro. 27, se muestra un ejemplo de código en Python:

**Figura Nro. 27:** Código de reconocimiento de texto con LSTM

```
import pytesseract
def reconocer_texto(imagen):
    custom_config = r'--oem 1 --psm 3 -l spa'
    texto = pytesseract.image_to_string(imagen, config=custom_config)
    h, w = imagen.shape[:2]
    boxes = pytesseract.image_to_boxes(imagen, config=custom_config)
    for b in boxes.splitlines():
        b = b.split(' ')
        imagen = cv2.rectangle(imagen, (int(b[1]), h - int(b[2])),
                               (int(b[3]), h - int(b[4])), (0, 255, 0), 2)
    plt.figure(figsize=(20, 20))
    if len(imagen.shape) == 3:
        plt.imshow(cv2.cvtColor(imagen, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    else:
        plt.imshow(imagen, cmap='gray')
    plt.title('Imagen con Texto Detectado')
    plt.axis('off')
    plt.show()
    return texto
```

La figura Nro. 28 presenta la imagen con los textos reconocidos y las cajas de texto dibujadas

**Figura Nro. 28:** Reconocimiento de texto utilizando Tesseract



### 4.8.4 Postprocesamiento

El texto extraído se somete a un proceso de limpieza y corrección gramatical y ortográfica para mejorar la legibilidad y precisión del contenido. En este caso, se utiliza la biblioteca language\_tool\_python [14] para realizar correcciones gramaticales y ortográficas, asegurando que el texto sea preciso y fácil de leer. La herramienta LanguageTool se utiliza para identificar y corregir errores gramaticales en el texto. En la figura Nro. 29 se muestra un ejemplo de código en Python:

**Figura Nro. 29:** Código de postprocesamiento del texto extraído

```
import language_tool_python
def postprocesar_texto(texto):
    texto = re.sub(r'\s+', ' ', texto)
    texto = re.sub(r'[\^w\s.,;]', '', texto)
    texto = texto.strip()
    tool = language_tool_python.LanguageTool('es')
    matches = tool.check(texto)
    texto_corregido = language_tool_python.utils.correct(texto, matches)
    return texto_corregido
```

En la tabla Nro. 7, se presentan los resultados de la traducción de la imagen de ejemplo.

**Tabla Nro. 7:** Texto extraído y corregido

<p>Los trabajos de remodelación de redes eléctricas; mejoramiento y ampliación de alumbrado público se cumple en la parroquia Izamba. La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (Eeasa) invierte aproximadamente 500 mil dólares. la obra beneficiará a 12 mil habitantes del sector.</p> <p>Las tareas consisten en el cambio de red monofásica a red trifásica con cable preensamblado, reubicación de redes (aquellas que se encuentran en terrenos privados) a la vía pública y la instalación de 300 luminarias LED. Además, esta obra brindará atención de cobertura de servicios a las nuevas urbaniza-</p>	<p>ciones y a los clientes comerciales, industriales y artesanales del sector Norte de la ciudad.</p> <p>La obra inició los primeros días de mayo del 2024. Al momento tiene plazo de ejecución de 210 días, su avance es del 20 por ciento. Los trabajos se ejecutan con las respectivas nomas de seguridad y permisos ambientales.</p> <p>La remodelación de redes eléctricas de Izamba, se enmarca en los ejes de gestión: calidad del servicio eléctrico que permite garantizar la continuidad y calidad del suministro: y, mejoramiento y ampliación de alumbrado público, ligado a la seguridad ciudadana. (I)</p>
--	--

## 4.9 Resultados

En este estudio, se han aplicado técnicas de visión artificial para la identificación y extracción de texto en diversas imágenes. Para calcular la precisión en cada uno de los casos de aplicación, se siguió el siguiente procedimiento:

- 01** Se recopiló un conjunto de imágenes representativas para cada contexto de aplicación.
- 02** Cada una de las imágenes del conjunto de prueba fue revisada manualmente. Se identificó y anotó el texto presente en las imágenes, sirviendo como punto de referencia para la evaluación.
- 03** Las imágenes fueron procesadas utilizando la metodología propuesta. Los algoritmos implementados en código Python detectaron y extrajeron el texto presente en cada imagen.

04

Los resultados del procesamiento automático se compararon con las anotaciones manuales. Se contabilizó el número de caracteres de texto correctamente identificados por el sistema, así como aquellos que no fueron detectados o fueron detectados incorrectamente.

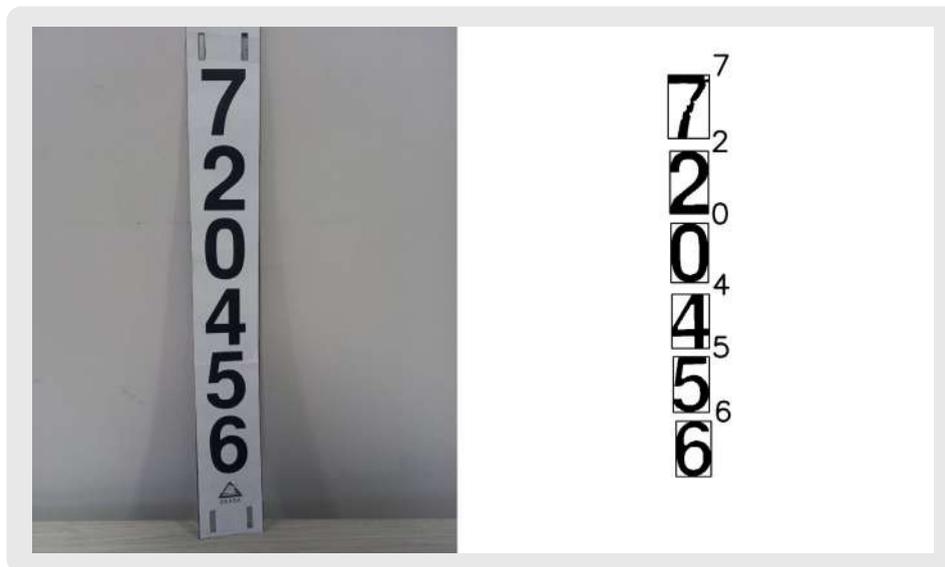
05

La precisión se calculó como el porcentaje de caracteres de texto correctamente identificados por los algoritmos, con respecto al total de caracteres presentes en las anotaciones manuales.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en diferentes contextos de aplicación:

La figura Nro. 30 muestra cómo se puede extraer texto de etiquetas adheridas a postes, facilitando la gestión de infraestructuras al eliminar la necesidad de inspecciones manuales. La precisión en este caso fue del 89%, basado en un conjunto de 67 imágenes de prueba.

**Figura Nro. 30:** Detección de textos en etiquetas de postes



La figura Nro. 31 ilustra la capacidad del sistema para detectar texto en pozos subterráneos, donde las letras a menudo están dispuestas en forma circular, lo que dificulta la lectura. La precisión en la extracción de texto en estos entornos fue del 65%, evaluado sobre 23 imágenes de prueba.

**Figura Nro. 31:** Detección de textos en pozos subterráneos



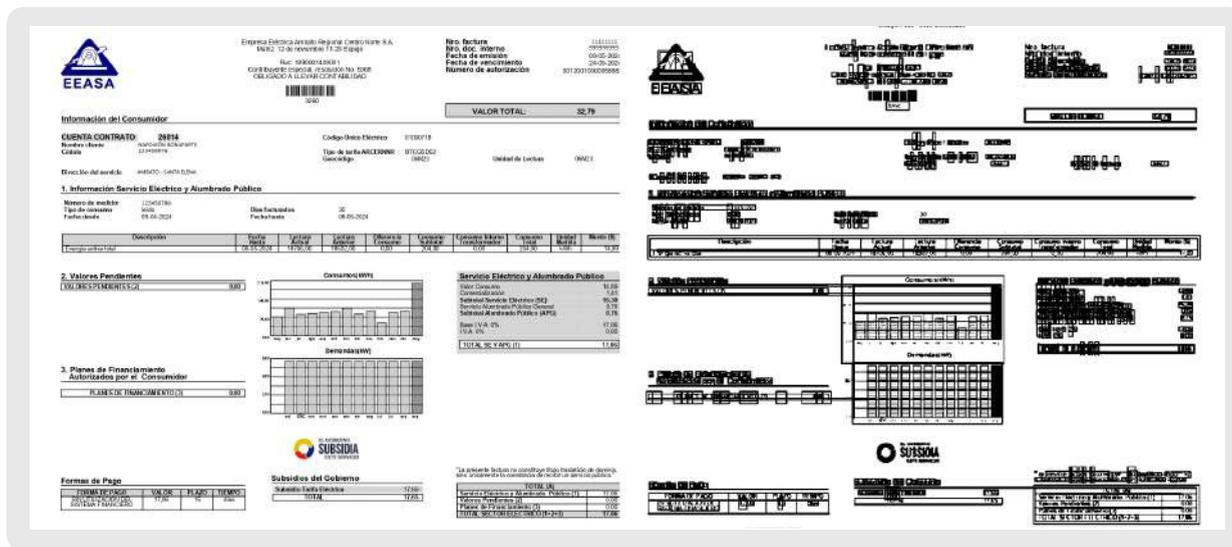
La figura Nro. 32 muestra la extracción de texto de placas de vehículos, útil para la gestión de flotas y la seguridad, al permitir el reconocimiento y seguimiento de vehículos de manera automatizada. La precisión en este caso fue del 86%, basado en un conjunto de 12 imágenes de prueba.

**Figura Nro. 32:** Detección de textos en placas de vehículos



La figura Nro. 33 muestra la extracción de texto de facturas, relevante para la digitalización y gestión de documentos administrativos. La precisión alcanzada fue del 91%, evaluada sobre un conjunto de 16 imágenes de prueba.

Figura Nro. 33: Detección de textos en facturas



## 4.10 Conclusiones

La implementación de técnicas de visión artificial para el reconocimiento óptico de caracteres en la EEASA ha mejorado el acceso a la información en fotografías y documentos escaneados. Las pruebas realizadas con diversos tipos de imágenes mostraron una precisión que varía entre el 65% y el 91%. Estos resultados evidencian el potencial de estas técnicas y destacan áreas donde se pueden realizar mejoras adicionales.

El preprocesamiento de imágenes, que incluye la conversión a escala de grises, eliminación de ruido, binarización y ajuste del grosor de las fuentes, ha mejorado la calidad del texto reconocido. Estos pasos han permitido una segmentación más precisa y una mejor legibilidad del texto. Además, el uso de language\_tool\_python para la corrección gramatical y ortográfica ha incrementado la precisión y legibilidad del texto extraído.

La metodología desarrollada ha demostrado ser aplicable a una amplia variedad de documentos y formatos de imagen, destacando el potencial de las técnicas de visión artificial y aprendizaje profundo en el reconocimiento de texto.

## 4.11 Trabajos a Futuro

Para mejorar la calidad del texto reconocido, se pueden explorar técnicas adicionales de preprocesamiento de imágenes, como la normalización de histograma y el uso de filtros adaptativos. Implementar modelos de aprendizaje profundo, como Transformers y modelos basados en atención, puede incrementar tanto la precisión como el rendimiento del OCR en textos con estructuras complejas. Además, investigar el uso combinado de redes neuronales convolucionales y redes neuronales recurrentes para la extracción de características y la secuenciación de texto podría ofrecer mejoras significativas.

## 4.12 Referencias

- [1] IBM, «¿Qué es la visión artificial?», IBM, [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/topics/computer-vision>. [Último acceso: 06 05 2024].
- [2] Vision systems desing, «The history of machine vision,» 23 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.vision-systems.com/knowledge-zone/article/14069209/the-history-of-machine-vision>. [Último acceso: 06 05 2024].
- [3] Grupo bcvision blog, «Beneficios de la visión artificial industrial y la automatización de procesos,» 08 11 2017. [En línea]. Available: <https://bcvision.es/blog-vision-artificial/beneficios-vision-artificial/>. [Último acceso: 05 06 2024].
- [4] Nanonets, «Deep Learning Based OCR for Text in the Wild,» [En línea]. Available: <https://nanonets.com/blog/deep-learning-ocr/>. [Último acceso: 21 03 2024].
- [5] R. Smith, «An Overview of the Tesseract OCR Engine,» Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), pp. 629–633, 2007.
- [6] S. Hochreiter y J. Schmidhuber, «Long Short-Term Memory,» Neural Comput 1997, p. 1735–1780, 1997.
- [7] Tesseract, «Tesseract User Manual,» [En línea]. Available: <https://tesseract-ocr.github.io/tessdoc/>. [Último acceso: 17 06 2024].
- [8] Nanonets, «OCR Unlocked: A Guide to Tesseract in Python with Pytesseract and OpenCV,» [En línea]. Available: <https://nanonets.com/blog/ocr-with-tesseract/>. [Último acceso: 17 06 2024].
- [9] OpenCV, «Color Space Conversions,» [En línea]. Available: [https://docs.opencv.org/4.x/d8/d01/group\\_\\_imgproc\\_\\_color\\_\\_conversions.html#ga4f0f0be743a3a46a893e6b0e6f8f3cc5](https://docs.opencv.org/4.x/d8/d01/group__imgproc__color__conversions.html#ga4f0f0be743a3a46a893e6b0e6f8f3cc5). [Último acceso: 17 06 2024].
- [10] OpenCV, «Image Filtering,» [En línea]. Available: [https://docs.opencv.org/4.x/d4/d86/group\\_\\_imgproc\\_\\_filter.html#ga9c3a033d9d1caa903bff36f4f842bd8f](https://docs.opencv.org/4.x/d4/d86/group__imgproc__filter.html#ga9c3a033d9d1caa903bff36f4f842bd8f). [Último acceso: 17 06 2024].

[11] OpenCV, «Image Thresholding,» [En línea]. Available: [https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/4.x/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html). [Último acceso: 17 06 2024].

[12] OpenCV, «Morphological Transformations,» [En línea]. Available: [https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial\\_py\\_morphological\\_ops.html](https://docs.opencv.org/4.x/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html). [Último acceso: 17 06 2024].

[13] Pytesseract, [En línea]. Available: <https://github.com/madmaze/pytesseract>. [Último acceso: 17 06 2024].

[14] Language tool python, [En línea]. Available: [https://github.com/jxmorris12/language\\_tool\\_python](https://github.com/jxmorris12/language_tool_python). [Último acceso: 17 06 2024].

[15] The Knowledge Academy, «A Comprehensive Guide on Big Data 3v,» 28 09 2023. [En línea]. Available: <https://www.theknowledgeacademy.com/blog/big-data-3v/>. [Último acceso: 05 06 2024].

[16] K. Jaggia, Business Statistics: Communicating with Numbers, 4th Edition, McGraw Hill, 2023.

[17] B. Shi, X. Bai y C. Yao, «An End-to-End Trainable Neural Network for Image-Based Sequence Recognition and Its Application to Scene Text Recognition,» IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, n° 11, pp. 2298-2304, 2017.

[18] Pillow, «Pillow (PIL Fork) 10.3.0 documentation,» [En línea]. Available: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>. [Último acceso: 17 06 2024].

[19] Matplotlib, [En línea]. Available: <https://matplotlib.org/stable/users/index.html>. [Último acceso: 17 06 2024].

## 4.13 Autor



**Ing. Bryan Mayorga**

M.Sc. - Departamento  
de Distribución - EEASA

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN

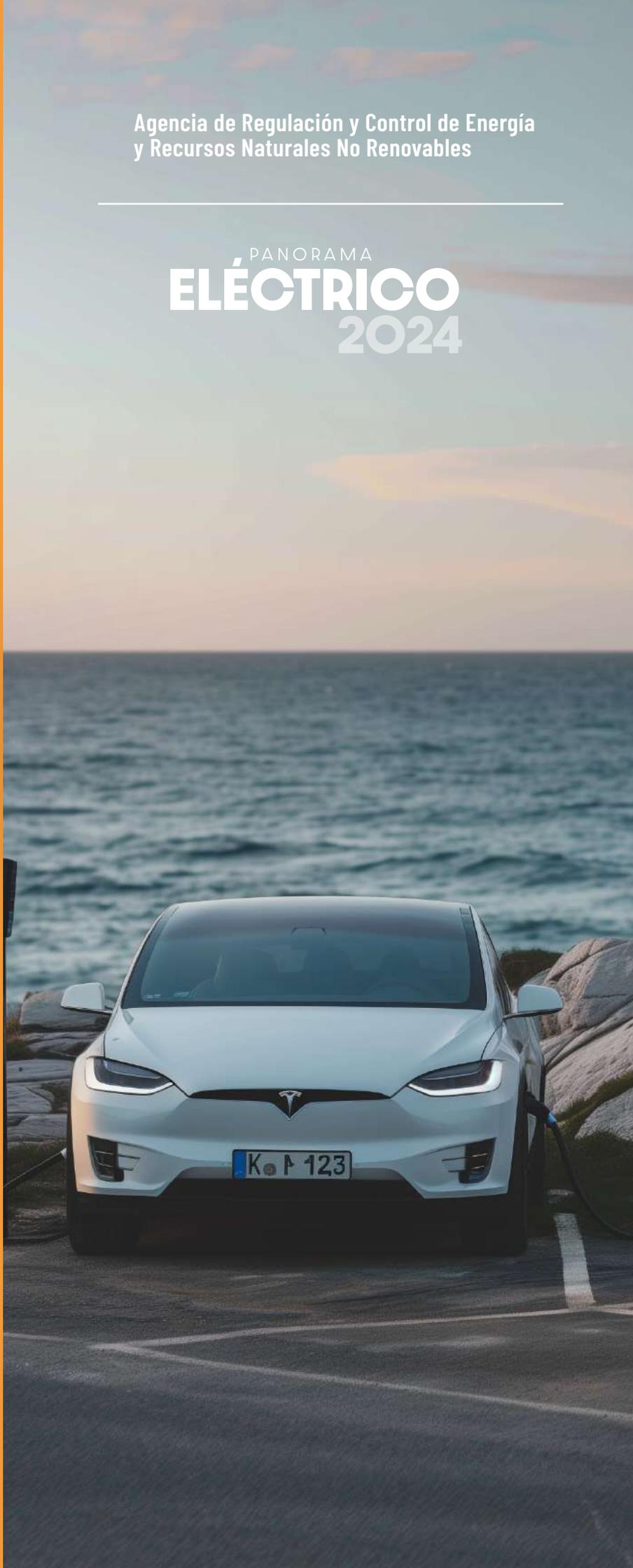


PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

CAPÍTULO

**05**

**Aprovechamiento de las baterías de los vehículos eléctricos para flexibilizar la integración de generación renovable en sistemas eléctricos insulares: el caso de las Islas Galápagos**





## Aprovechamiento de las baterías de los vehículos eléctricos para flexibilizar la integración de generación renovable en sistemas eléctricos insulares: el caso de las Islas Galápagos

**Danny Ochoa Correa,**

PhD

Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

### 5.1 Introducción

En el contexto actual, la transición hacia modelos de generación eléctrica más limpios y sostenibles es una preocupación creciente, especialmente en regiones insulares como las islas Galápagos en Ecuador [1]. La dependencia de combustibles importados para la generación de electricidad y el transporte interno ha representado históricamente un desafío significativo debido a su aislamiento geográfico [2]. La vulnerabilidad de los ecosistemas insulares a la contaminación impulsa la necesidad de transitar hacia fuentes de energía renovable. A pesar de su variabilidad inherente, la energía eólica y solar han ganado aceptación como alternativas viables. La integración de estas tecnologías renovables en redes insulares presenta desafíos técnicos que afectan la calidad del suministro eléctrico, especialmente con la creciente presencia de vehículos eléctricos [3]. Sin embargo, las baterías de estos vehículos ofrecen una oportunidad para mejorar el rendimiento de la red.

La implementación de sistemas de generación basados en fuentes renovables en las Islas Galápagos presenta desafíos significativos. La limitada superficie disponible, debido a que el 97% del área terrestre es una zona protegida, restringe la construcción de nuevos proyectos [1]. Adicionalmente, la variabilidad de los recursos renovables como el viento y la radiación solar complica la operación y control del sistema eléctrico insular. Estos desafíos ponen en manifiesto la necesidad de desarrollar técnicas innovadoras que optimicen la integración de estas fuentes renovables [4].

Estos desafíos resaltan la necesidad de desarrollar técnicas innovadoras para optimizar la integración de fuentes renovables. Una oportunidad clave para facilitar esta integración es mediante la utilización de sistemas de almacenamiento de energía. Los principales focos turísticos del archipiélago, las islas Santa Cruz y San Cristóbal, cuentan con una flota considerable de vehículos eléctricos circulando por sus calles [3].

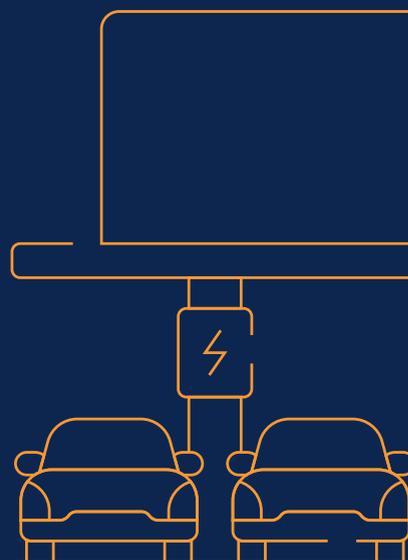
El concepto de “Vehicle to Grid” (V2G) surge como una solución innovadora para aprovechar las baterías de estos vehículos eléctricos, brindando flexibilidad operativa a los frágiles sistemas eléctricos insulares y compensando las fluctuaciones de la potencia proveniente de la energía renovable. La tecnología V2G permite que las baterías de los vehículos eléctricos, además de que se carguen desde la red eléctrica, también puedan inyectar energía de vuelta a la red cuando sea necesario [5]. Esto convierte a los vehículos eléctricos en unidades de almacenamiento de energía móvil que pueden ser utilizadas para equilibrar la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real.

Implementar el concepto V2G en las Islas Galápagos podría transformar radicalmente la gestión de la energía en el archipiélago. Durante las horas pico de producción de energía renovable, las baterías de los vehículos eléctricos pueden almacenar el exceso de energía. Posteriormente, durante los momentos de alta demanda o cuando la producción de energía renovable es baja, estas baterías pueden devolver la energía almacenada a la red. Este intercambio bidireccional de energía ayudaría a estabilizar la red y reduciría la necesidad de recurrir a generadores diésel, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y coadyuvando a la descarbonización de las islas [6].

Además de estabilizar la red, el sistema V2G puede proporcionar otros servicios complementarios esenciales como el control de frecuencia y tensión, y la regulación de la potencia reactiva [7]. Estos servicios son vitales para mantener la calidad y la confiabilidad del suministro eléctrico en una red insular, donde las opciones de respaldo son limitadas. La flexibilidad operativa que ofrece V2G es particularmente beneficiosa en contextos insulares donde la capacidad de almacenamiento estacionario es limitada y costosa

Para que el concepto V2G sea viable en las Islas Galápagos, es necesario establecer una infraestructura adecuada que incluya estaciones de carga bidireccional, sistemas de gestión de energía avanzados y políticas regulatorias que incentiven la participación de los propietarios de vehículos eléctricos. Las estaciones de carga bidireccional permiten la conexión de los vehículos eléctricos a la red de manera segura y eficiente, facilitando tanto la carga como la descarga de energía. Los sistemas de gestión de energía, por otro lado, deben ser capaces de monitorear y controlar el flujo de energía entre los vehículos y la red en tiempo real, optimizando el uso de los recursos disponibles [8].

**Las políticas regulatorias son un componente crucial para el éxito de V2G.** Es necesario implementar incentivos económicos que motiven a los propietarios de vehículos eléctricos a participar en el programa V2G, tales como tarifas preferenciales por la energía inyectada a la red o subsidios para la instalación de estaciones de carga bidireccional [9]. Además, se deben establecer normativas claras que regulen las condiciones de operación y seguridad de los sistemas V2G, garantizando su integración armónica en la red eléctrica existente.



Este artículo resume el proceso de diseño e implementación experimental de una técnica innovadora de suavización de la potencia inyectada por fuentes de generación renovable no convencional (en este caso, fotovoltaica) apoyada en el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento de energía en las baterías de vehículos eléctricos cuando éstos se enchufan a la red de distribución para su proceso de carga. El método aquí propuesto emplea un modelo agregado de baterías de iones de litio asociadas a un convertidor electrónico de potencia bidireccional. La validación experimental se lleva a cabo en el Laboratorio de Micro-Red de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Los resultados experimentales demuestran una reducción significativa del 14% en la variabilidad de la generación de energía, resultando en un perfil de suministro eléctrico más estable. Además, se observa una mejora marginal en la entrega de energía, con una inyección adicional de 0.23 kWh en comparación con escenarios sin la participación de las baterías de vehículos eléctricos en tareas de suavización de potencia. Estos hallazgos respaldan la efectividad del enfoque propuesto en la optimización de la integración de generadores renovables intermitentes y la carga de vehículos eléctricos en sistemas energéticos insulares.

## 5.2 Materiales y métodos

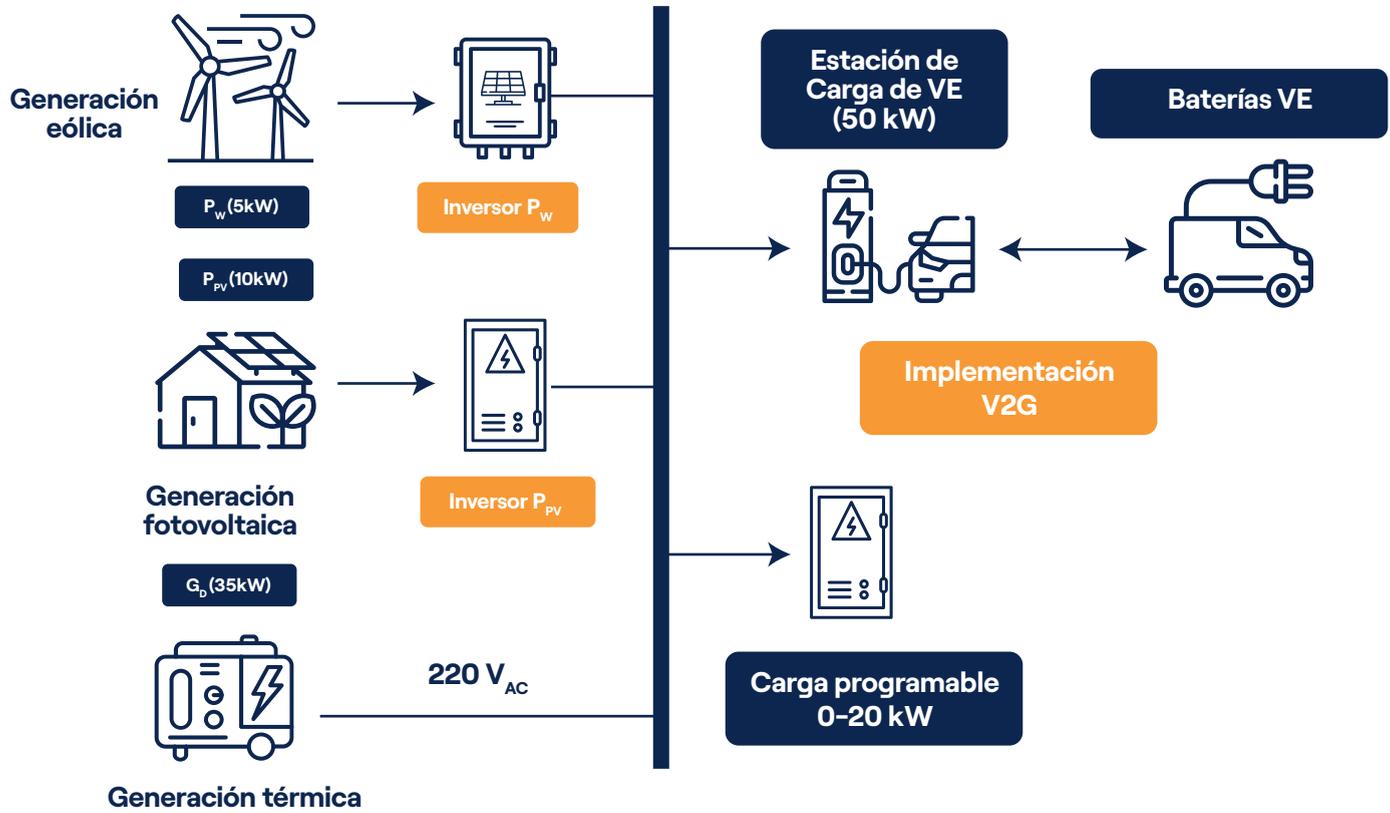
### 5.2.1 Diseño de la configuración del banco de pruebas experimental

Para validar la propuesta, se configuró un banco de pruebas experimental en el Laboratorio de Micro-Red de la Universidad de Cuenca, Ecuador, que representa, a escala, el sistema energético de las islas Baltra y Santa Cruz en Galápagos [10]. Este sistema incluye paneles solares fotovoltaicos (PV) y una turbina eólica (WP), reflejando las principales fuentes de energía renovable de las islas. Además, integra un generador térmico diésel similar a los de Santa Cruz y un sistema de almacenamiento de energía con baterías de iones de litio (Li-Ion BESS) para gestionar la intermitencia de las fuentes renovables.

La microrred aislada está compuesta por paneles solares de policristalino (10 kWp), una turbina eólica de velocidad variable (5 kW) y un Li-Ion BESS (44 kWh). La configuración, mostrada en la figura Nro. 34, incluye un generador diésel térmico, una carga programable trifásica (20 kW) y una estación de carga de vehículos eléctricos (EVCS) con un vehículo eléctrico BYD, todos operando a 220 VAC. Esta carga constante asegura que las perturbaciones de potencia se deban únicamente a la inyección de energía renovable, evitando el flujo de energía inverso al generador diésel durante el exceso de generación renovable y garantizando una implementación segura del concepto V2G.

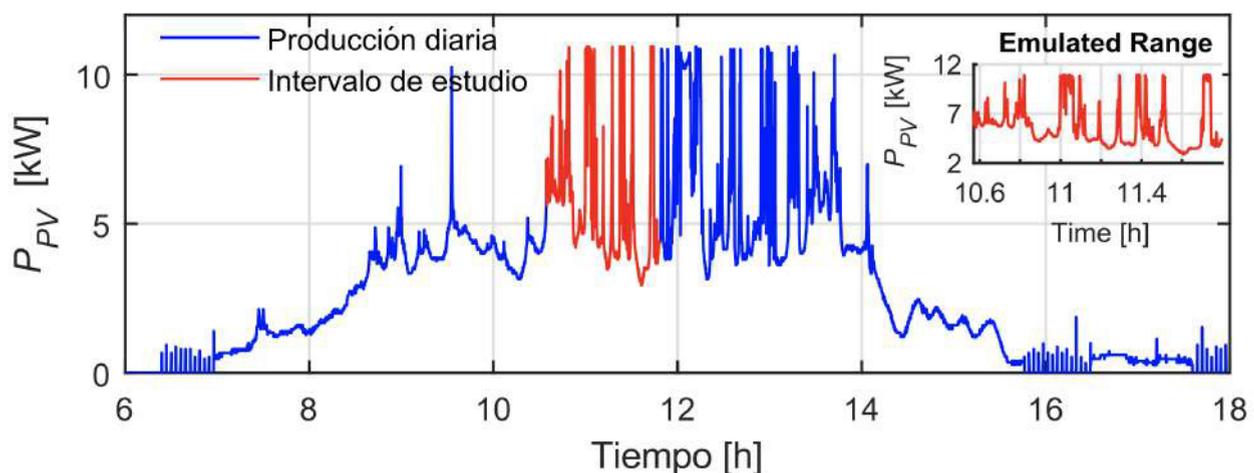
El laboratorio también dispone de una furgoneta BYD T3 con una batería LiNiMnCo (50.3 kWh, 438 VDC) y una autonomía de 300 km. Para emular la conexión V2G, se utilizó un banco de baterías de iones de litio recargables (642 VDC, 88 kW) conectado a un convertidor de potencia de 50 kW, permitiendo modos de operación G2V y V2G. La variabilidad en la generación diaria de PV y WP puede impactar significativamente la operación y el rendimiento de los sistemas aislados, así como los requisitos de diseño y dimensionamiento del BESS de Li-Ion o los sistemas de gestión.

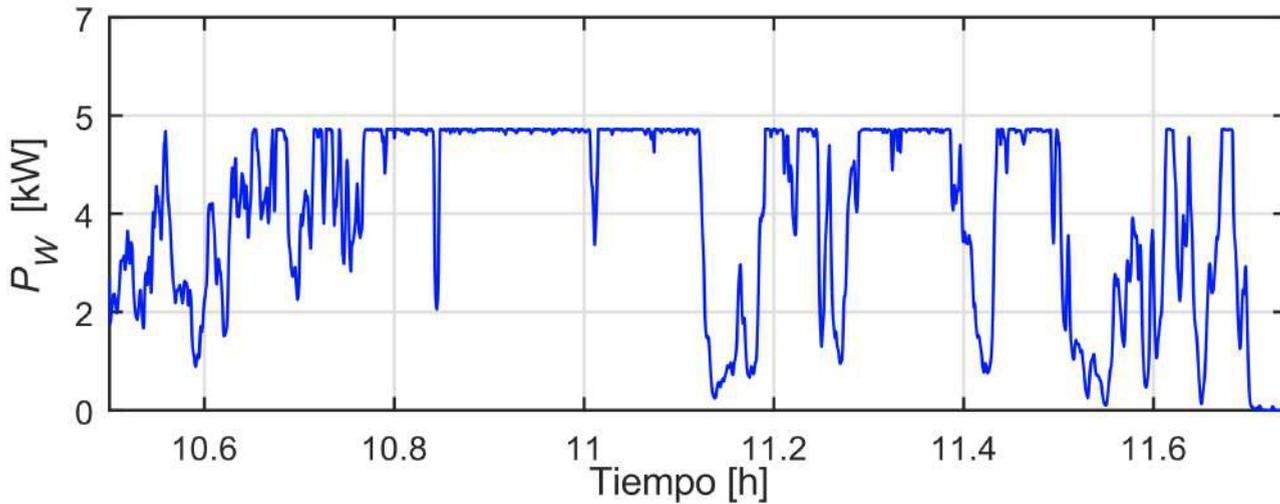
**Figura Nro. 34:** Sistema de pruebas implementado en el laboratorio de Micro-Red, Universidad de Cuenca, Ecuador.



Para la emulación de la generación de energía renovable, se consideraron dos curvas de potencia: una para la energía solar fotovoltaica y otra para la energía eólica, seleccionadas del registro histórico de producción alojado en los servidores del sistema SCADA del laboratorio (figura Nro. 35). En la figura Nro. 35 (a) se ha resaltado en color rojo el fragmento de la curva de producción solar fotovoltaica que será utilizada en este estudio, mientras que en la figura Nro. 35 (b) se muestra la totalidad del perfil de producción eólica considerado.

**Figura Nro. 35:** Perfiles fotovoltaico y eólico, reales seleccionados para el estudio. (a)



**Figura Nro. 35:** Perfiles fotovoltaico y eólico, reales seleccionados para el estudio. (b)

Para la prueba de laboratorio y la validación de la efectividad del método propuesto, se emularon aproximadamente 1,2 horas de la curva de potencia total (solar y eólica combinadas). En estudios en tiempo real como este, es adecuado tomar intervalos de tiempo cortos porque se busca observar cómo se comporta la dinámica de la potencia de los actores energéticos estudiados. A diferencia de los estudios energéticos, que abarcan períodos prolongados de horas, días o semanas, este enfoque permite una evaluación detallada y precisa de las respuestas instantáneas y las fluctuaciones en la generación y el almacenamiento de energía. Al centrarse en intervalos más cortos, se puede capturar la variabilidad y las interacciones en un entorno controlado, facilitando la identificación de mejoras y ajustes necesarios en el método propuesto para optimizar su desempeño en condiciones reales. La elección de este intervalo temporal específico de la curva para la emulación se basó, a criterio del autor, en su comportamiento altamente variable, permitiendo una evaluación más rigurosa del método propuesto ante condiciones operativas adversas. El objetivo era probar el método en tiempo real para obtener una evaluación más completa del comportamiento del sistema V2G con el BESS de Li-Ion. Notablemente, el BESS de Li-Ion disponible en el laboratorio se utilizó para emular la potencia suministrada por los sistemas PV y WP.

## 5.2.2 Propuesta de Control para la Mitigación de las Fluctuaciones de Potencia

Para facilitar la integración de energía renovable en sistemas eléctricos, mediante el alisamiento de la potencia fluctuante inyectada por los agentes de generación eléctrica solar y eólico en el sistema, se ha desarrollado una propuesta de control que utiliza un algoritmo de suavización de potencia basado en el método Ramp-Rate (R-R) mejorado, controlado por una función de lógica difusa (Fuzzy Logic Controller-FLC), la cual debería ser implementada en la práctica en los sistemas de gestión energética de las estaciones de carga de los vehículos eléctricos [5].

### 5.2.2.1 Método Ramp-Rate (R-R)

El método Ramp-Rate (R-R) es una técnica que regula la velocidad de cambio de potencia en un sistema de generación de energía utilizando un sistema de almacenamiento energético. Su objetivo es evitar fluctuaciones bruscas en la producción de energía, asegurando que cualquier variación ocurra gradual. Esto es especialmente importante en sistemas que utilizan energía solar y eólica, donde las condiciones pueden cambiar rápidamente y causar inestabilidad.

### 5.2.2.2 Mejoras con Lógica Difusa

La propuesta mejora el método R-R tradicional mediante el uso de lógica difusa, una técnica que permite tomar decisiones basadas en información imprecisa o incierta, similar a la toma de decisiones humanas en situaciones complejas. En este caso, el controlador de lógica difusa (FLC) ajusta dinámicamente los límites de cambio de potencia basados en dos factores principales:

- 1. Energía generada:** Mide la cantidad de energía solar y eólica producida en tiempo real.

---

- 2. Estado de carga de la batería:** Monitorea el nivel de carga de la batería de iones de litio utilizada para almacenar energía.

En tanto que el algoritmo propuesto, realiza las siguientes acciones:

- 1. Medición en tiempo real:** Mide constantemente la energía generada y el estado de carga de la batería.

---

- 2. Decisiones basadas en reglas difusas:** Utiliza reglas predefinidas para determinar cómo ajustar la tasa de cambio de potencia y suavizar las fluctuaciones.

---

- 3. Ajuste dinámico:** La salida del FLC proporciona una tasa de cambio de potencia ajustable, permitiendo mayor flexibilidad y optimización del sistema, especialmente durante alta demanda de energía o recursos limitados.

El algoritmo propuesto opera mediante la integración continua de datos en tiempo real sobre la energía generada y el estado de carga de la batería. Emplea un conjunto de reglas predefinidas basadas en lógica difusa para decidir de manera óptima cómo ajustar la tasa de cambio de potencia, con el objetivo de mitigar las fluctuaciones inherentes en los recursos renovables. Este enfoque proporciona al sistema una capacidad mejorada para adaptarse a las variaciones en la demanda de energía y la disponibilidad de recursos, permitiendo así una gestión más eficiente y flexible. Para obtener detalles adicionales sobre la construcción, aspectos técnicos e implementación, se puede consultar la referencia [5].

## 5.3 Resultados

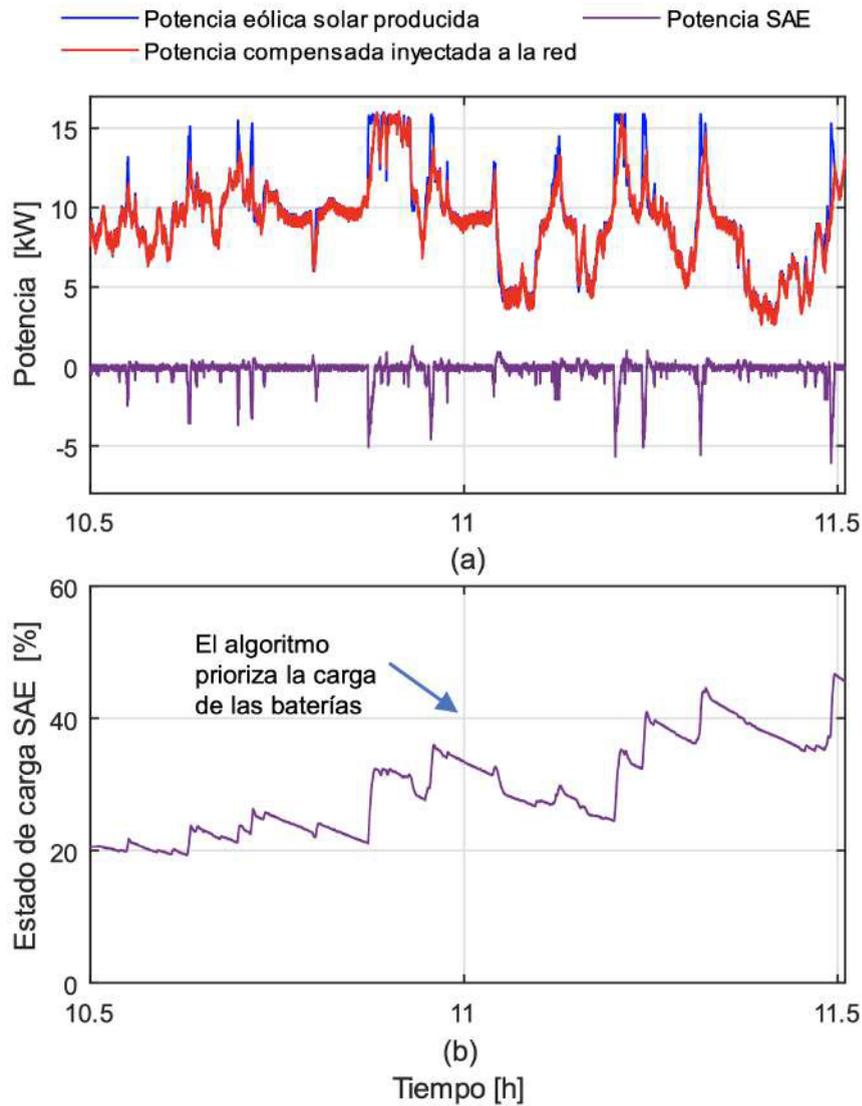
### 5.3.1 Validación Experimental de la Propuesta

En este estudio, se implementó una condición de carga para el sistema de almacenamiento de energía con baterías de iones de litio (Li-Ion BESS) para aprovechar todos los picos de energía renovable generada (RES) para su recarga. En este caso, se estableció un estado de carga (SoC) inicial del 20% y, con el tiempo, se observó cómo el SAE basado en Li-Ion BESS priorizó su carga. El objetivo era asegurar que el Li-Ion BESS estuviera cargado para su uso en el vehículo eléctrico (EV) a través del sistema V2G.

Los resultados experimentales, los cuales se muestran en la figura Nro. 36, evidencian que la técnica de suavización de potencia a través del filtro R-R con control de lógica difusa (FLC) logró una reducción del 14% en la varianza. La figura Nro. 36 (a) muestra la suavización de potencia conseguida mediante la inyección y absorción de potencia por parte del SAE regulada por el algoritmo propuesto; cuando el sistema opera de forma tradicional, sin la implementación de la solución, la potencia renovable inyectada a la red obedece a la curva de color azul. Complementariamente, en la figura Nro. 36 (b), se muestra la dinámica adoptada por el SoC del SAE. En esta gráfica se muestra cómo, mientras se provee el servicio de compensación de la potencia manejada por el SAE, el algoritmo garantiza un proceso de carga seguro y controlado hasta el 48%, en la ventana de tiempo estudiada.

La investigación mostró que es posible conseguir un adecuado alisamiento de la potencia renovable inyectada a la red al tiempo que se prioriza la carga de la batería del vehículo

**Figura Nro. 36:** Resultados de la validación experimental de la propuesta



## 5.4 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio destacan la efectividad del algoritmo de suavización de potencia basado en el método Ramp-Rate (R-R) controlado por una función de lógica difusa (FLC) en la mitigación de las fluctuaciones de energía renovable. La reducción del 14% en la varianza y la priorización de la carga de la batería hasta un 48% de SoC demuestran que la integración de sistemas de almacenamiento energético con capacidades V2G puede optimizar significativamente la estabilidad y eficiencia de la red eléctrica insular. La implementación del concepto V2G no solo facilita la suavización de la potencia, sino que también mejora la durabilidad de las baterías al minimizar los ciclos de carga y descarga. No obstante, es crucial abordar con mayor atención la dinámica del SoC de la batería. Aunque el algoritmo propuesto se ha diseñado para evitar el estrés excesivo de la batería, respetando sus ciclos de carga y descarga, es necesario realizar un estudio más exhaustivo sobre cómo el uso del V2G podría influir en el comportamiento habitual de la batería del vehículo durante los procesos de carga y descarga convencionales. Estos hallazgos sugieren que la metodología propuesta es una solución viable y prometedora para los desafíos energéticos en regiones insulares como las islas Galápagos, donde la dependencia de fuentes renovables es crucial para la sostenibilidad.

## 5.5 Conclusiones

La investigación presentada valida la propuesta de utilizar un algoritmo de suavización de potencia basado en el método Ramp-Rate (R-R) mejorado con lógica difusa (FLC) en sistemas eléctricos insulares. Los resultados experimentales indican que esta técnica además de mejorar la estabilidad del suministro eléctrico al reducir la variabilidad de la generación de energía, también optimiza la gestión de la carga en baterías de vehículos eléctricos, aumentando su eficiencia y vida útil. La implementación del concepto V2G en este contexto se muestra como una estrategia efectiva para la integración de fuentes de energía renovable, proporcionando una solución sostenible y replicable para otros entornos insulares. Así, la adopción de esta metodología puede representar un avance significativo hacia un futuro energético más limpio y resiliente, contribuyendo a los objetivos globales de desarrollo sostenible y conservación ambiental.

No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse para futuras investigaciones. En primer lugar, se ha utilizado una representación agregada de las estaciones de carga de vehículos eléctricos, asumiendo que todos los vehículos disponibles están conectados simultáneamente. Para obtener resultados más precisos, se recomienda emplear modelos desagregados de estaciones de carga que consideren la dispersión geográfica, diferentes tipos de cargas (monofásicas, bifásicas y trifásicas), y períodos de simultaneidad de consumo.

Además, se debería contemplar en el estudio la probabilidad de conexión de los vehículos eléctricos y el hecho de que los usuarios prefieren cargar sus vehículos durante la noche. Una política de incentivo tarifario podría cambiar esta preferencia horaria de carga para garantizar la disponibilidad de las baterías en las horas de mayor variabilidad solar y eólica, asegurando así la provisión del servicio complementario de alisamiento de potencia. Es también crucial realizar estudios detallados sobre el uso, desgaste y envejecimiento de las baterías cuando estas proveen el servicio V2G. Definir políticas de retribución tarifaria hacia los usuarios que ponen las baterías de sus vehículos al servicio de la red será esencial para incentivar esta práctica.

En conclusión, aunque los resultados iniciales son prometedores, es necesario abordar estas limitaciones y realizar estudios adicionales para optimizar y validar plenamente la propuesta en condiciones reales, garantizando así su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

## 5.6 Lista de Abreviaturas y Acrónimos Utilizados

- BESS:** Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (Battery Energy Storage System)
- EV:** Vehículo Eléctrico (Electric Vehicle)
- EVCS:** Estación de Carga de Vehículos Eléctricos (Electric Vehicle Charging Station)
- FLC:** Controlador de Lógica Difusa (Fuzzy Logic Controller)
- GD:** Generador Diésel (Diesel Generator)
- Li-Ion:** Batería de Iones de Litio (Lithium-Ion Battery)
- PV:** Energía Solar Fotovoltaica (Photovoltaic)
- RES:** Fuentes de Energía Renovable (Renewable Energy Sources)
- R-R:** Ramp-Rate
- SCADA:** Supervisión, Control y Adquisición de Datos (Supervisory Control and Data Acquisition)
- SoC:** Estado de Carga (State of Charge)
- V2G:** Vehículo a la Red (Vehicle to Grid)
- WP:** Energía Eólica (Wind Power)

## 5.7 Referencias

- [1]J. Ayala-Pico, D. Arcos-Aviles, A. Ibarra, C. Fernandez, F. Guinjoan, y W. Martinez, «Current development of electricity generation systems in the Galapagos Islands – Ecuador», *Renew. Energy Focus*, vol. 46, pp. 88-102, sep. 2023, doi: 10.1016/j.ref.2023.06.003.
- [2]D. Ochoa y S. Martinez, «Proposals for Enhancing Frequency Control in Weak and Isolated Power Systems: Application to the Wind-Diesel Power System of San Cristobal Island-Ecuador», *Energies*, vol. 11, n.o 4, p. 910, abr. 2018, doi: 10.3390/en11040910.
- [3]A. S. Sánchez, E. P. Junior, B. M. Gontijo, P. de Jong, y I. B. dos Reis Nogueira, «Replacing fossil fuels with renewable energy in islands of high ecological value: The cases of Galápagos, Fernando de Noronha, and Príncipe», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 183, 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113527.
- [4]E. Villa-Ávila et al., «Enhancing Energy Power Quality in Low-Voltage Networks Integrating Renewable Energy Generation: A Case Study in a Microgrid Laboratory», *Energies*, vol. 16, n.o 14, Art. n.o 14, jul. 2023, doi: 10.3390/en16145386.
- [5]E. Villa-Ávila, P. Arévalo, D. Ochoa-Correa, V. Iñiguez-Morán, y F. Jurado, «Innovative Power Smoothing Technique for Enhancing Renewable Integration in Insular Power Systems Using Electric Vehicle Charging Stations», *Appl. Sci.*, vol. 14, n.o 1, Art. n.o 1, ene. 2024, doi: 10.3390/app14010375.
- [6]J. Sora, I. Serban, y D. Petreus, «Enhancing Microgrid Operation Through Electric Vehicle Integration: A Survey», *IEEE Access*, vol. 12, pp. 64897-64912, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3397587.
- [7]Y. Liang, Z. Wang, y A. B. Abdallah, «Robust Vehicle-to-Grid Energy Trading Method Based on Smart Forecast and Multi-Blockchain Network», *IEEE Access*, vol. 12, pp. 8135-8153, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3352631.
- [8]A. Ali, H. H. H. Mousa, M. F. Shaaban, M. A. Azzouz, y A. S. A. Awad, «A Comprehensive Review on Charging Topologies and Power Electronic Converter Solutions for Electric Vehicles», *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 12, n.o 3, pp. 675-694, may 2024, doi: 10.35833/MPCE.2023.000107.
- [9]R. Torabi, Á. Gomes, y F. Morgado-Dias, «Energy transition on islands with the presence of electric vehicles: A case study for Porto Santo», *Energies*, vol. 14, n.o 12, 2021, doi: 10.3390/en14123439.
- [10] J. L. Espinoza, L. G. González, y R. Sempértegui, «Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in Ecuador», en 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC), nov. 2017, pp. 1-7. doi: 10.1109/ROPEC.2017.8261615.

## 5.8 Autor



**Ing. Danny Ochoa Correa**

PhD, Profesor e Investigador

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



Agencia de Regulación y Control de Energía  
y Recursos Naturales No Renovables

PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

# 06

Cifras del sector  
eléctrico ecuatoriano





# Cifras del sector eléctrico

**Andrea Torres**

Ingeniera Eléctrica

**Diana Cajamarca**

Ingeniera Electrónica

**Christian Junia**

Ingeniero Eléctrico

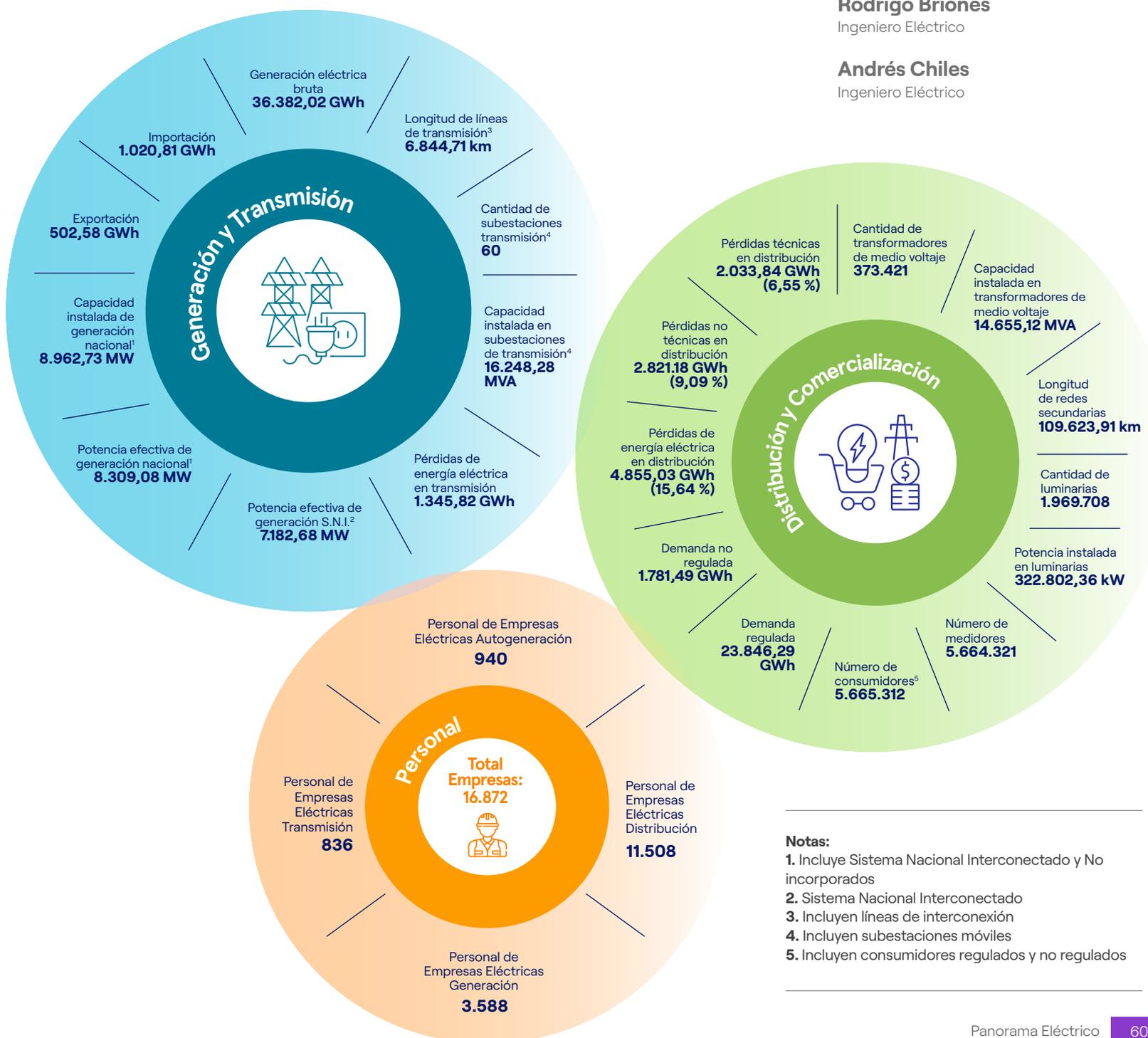
**Rodrigo Briones**

Ingeniero Eléctrico

**Andrés Chiles**

Ingeniero Eléctrico

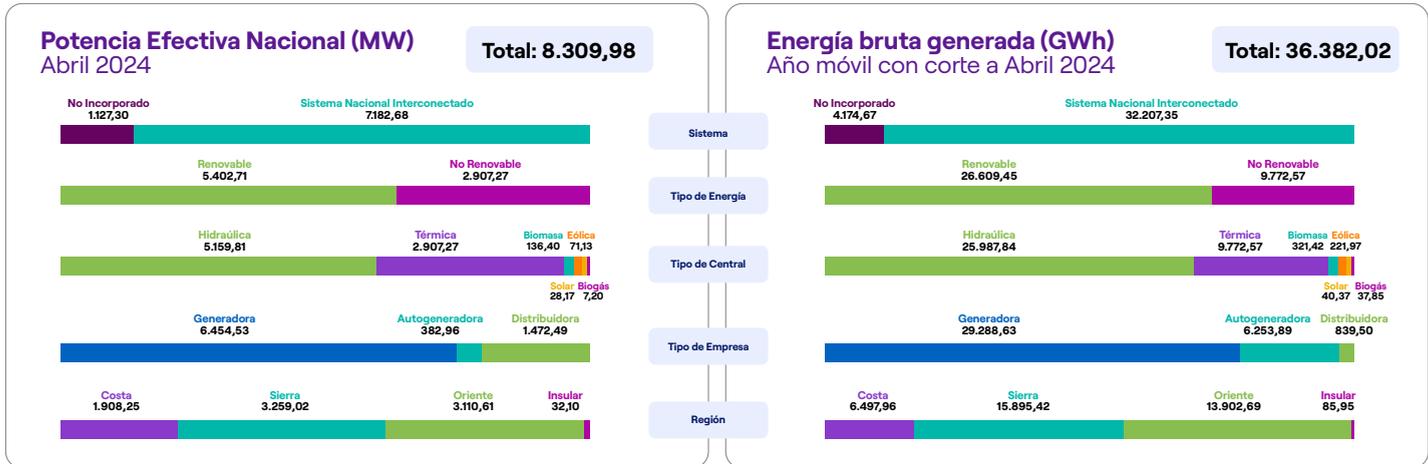
## 6.1 Cifras principales del sector eléctrico, abril 2024



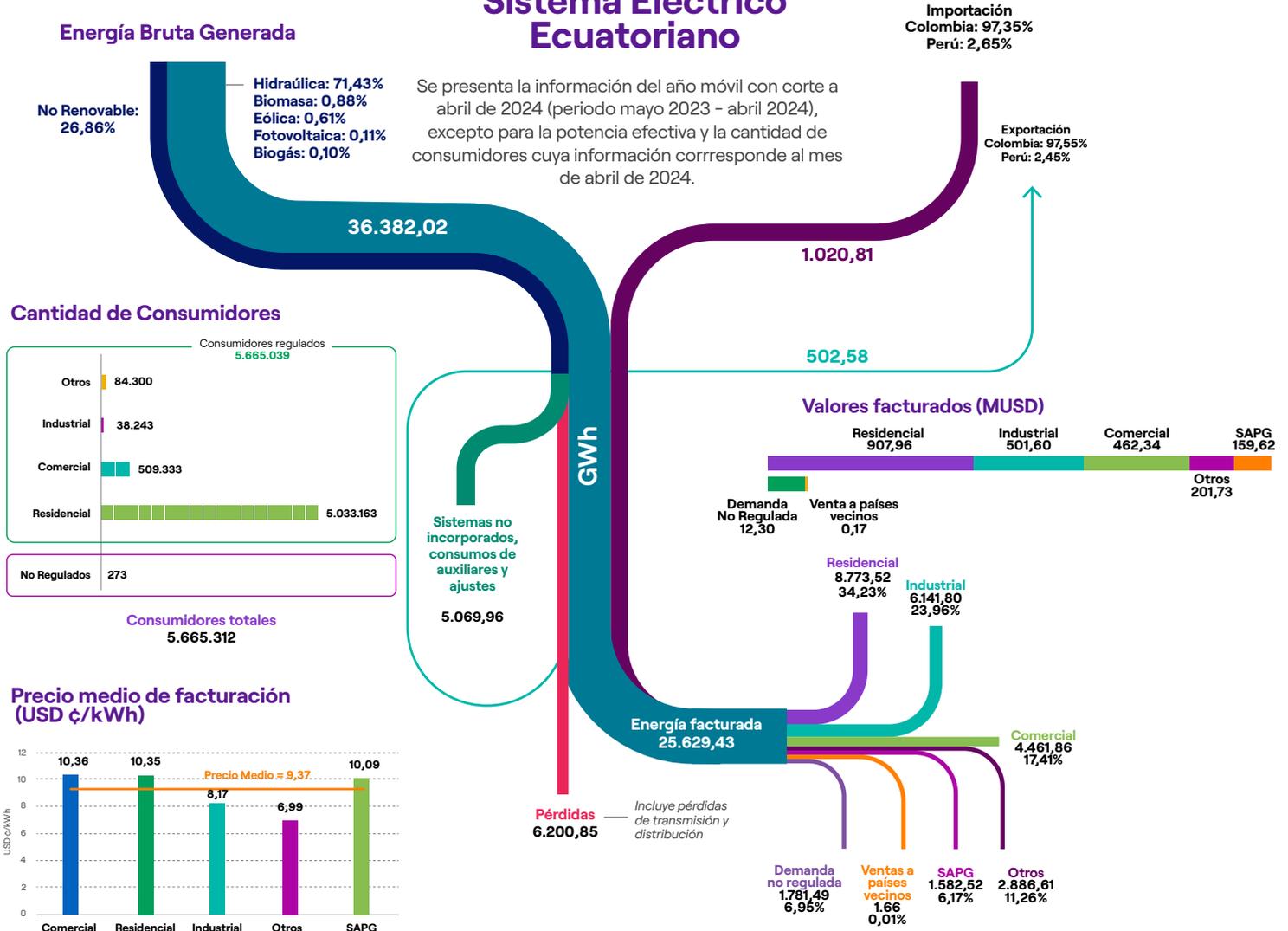
**Notas:**

1. Incluye Sistema Nacional Interconectado y No incorporados
2. Sistema Nacional Interconectado
3. Incluyen líneas de interconexión
4. Incluyen subestaciones móviles
5. Incluyen consumidores regulados y no regulados

## 6.2 Potencia, producción de energía, consumos, facturación



## Sistema Eléctrico Ecuatoriano



Guayas  
8.285



Pichincha  
3.754



Manabí  
1.849



El Oro  
1.014



Azuay  
956



Zamora Chinchipe  
819



Tungurahua  
485



Chimborazo  
327



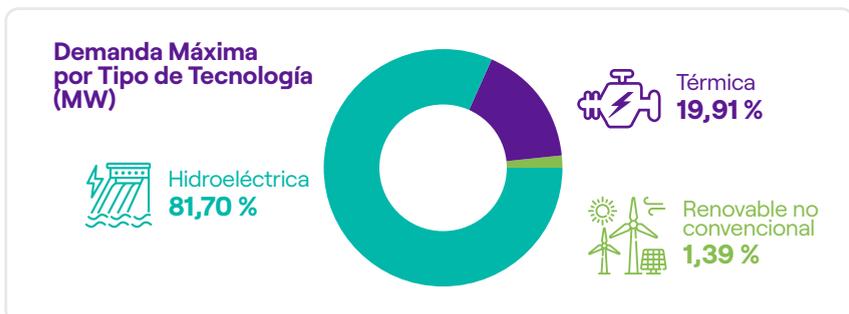
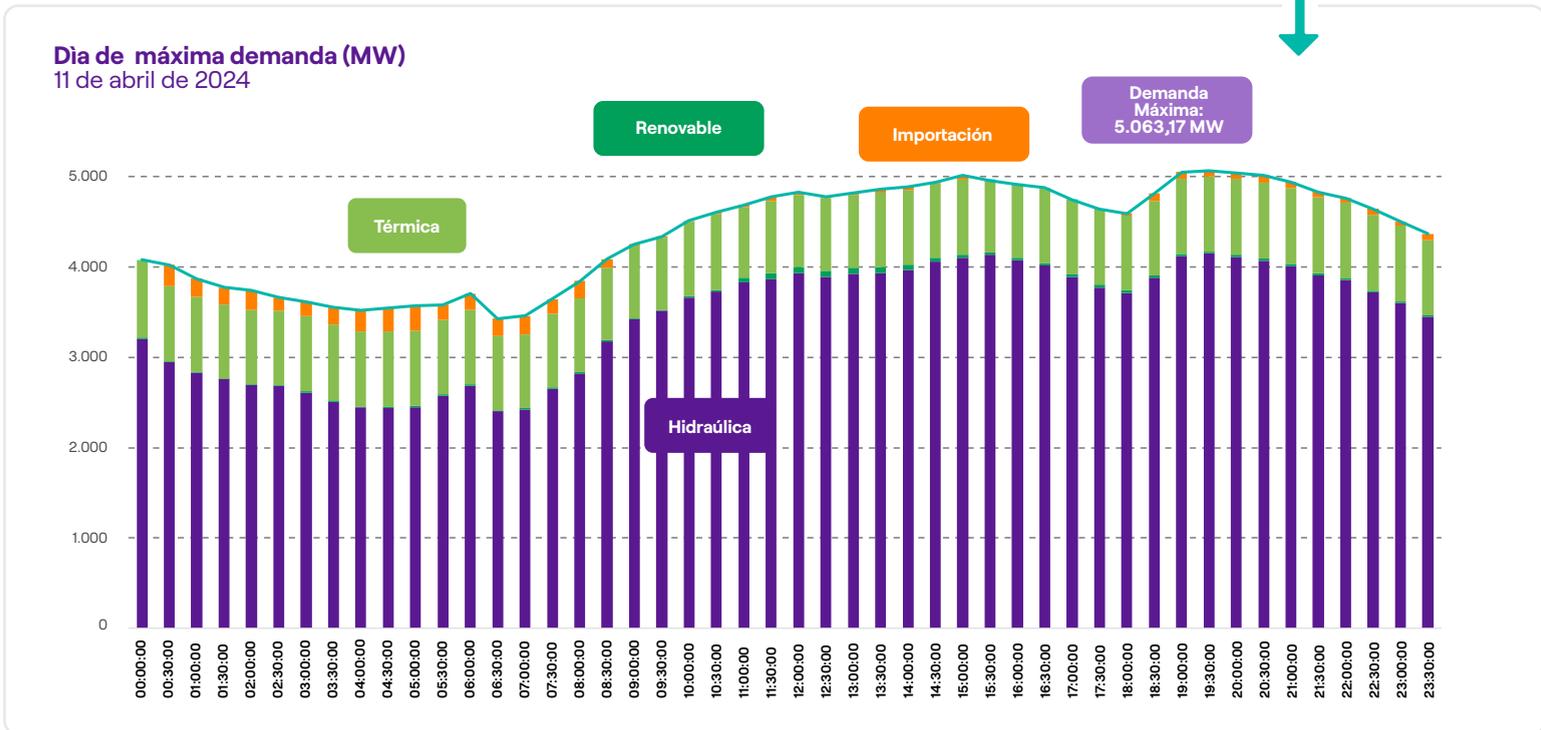
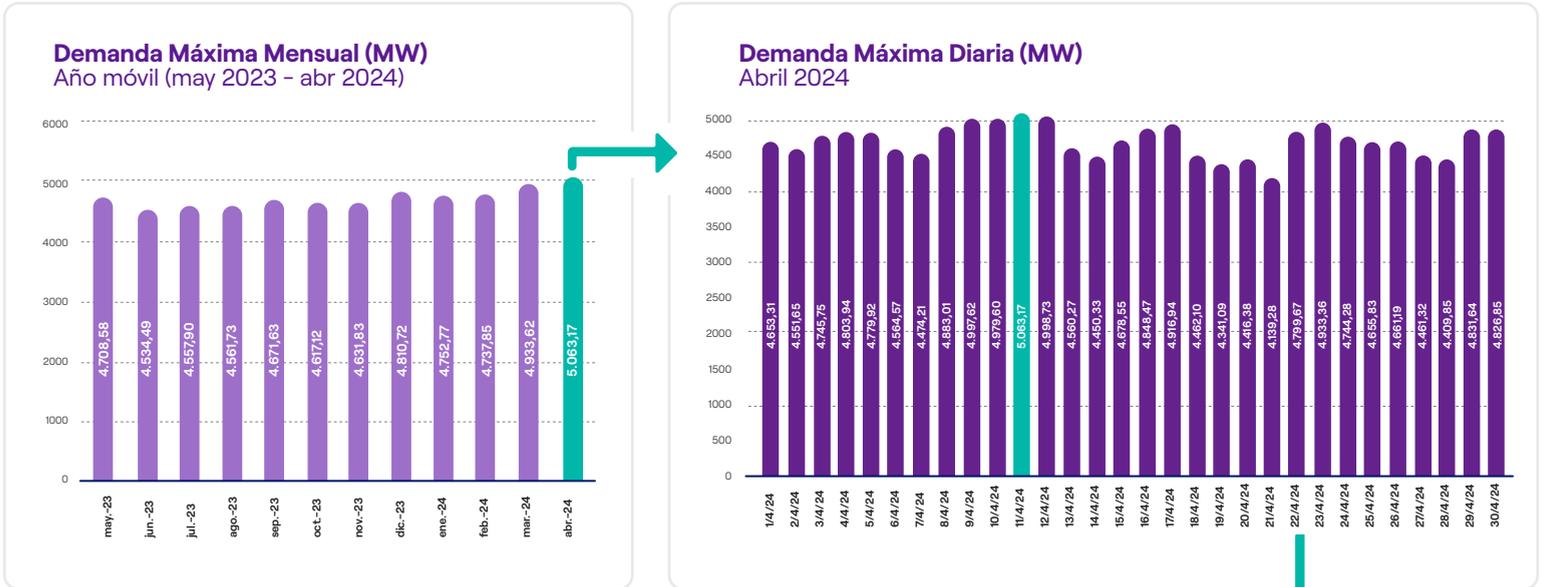
Napo  
98



Galápagos  
75

## 6.3 Demanda de Energía en el Sistema Nacional Interconectado

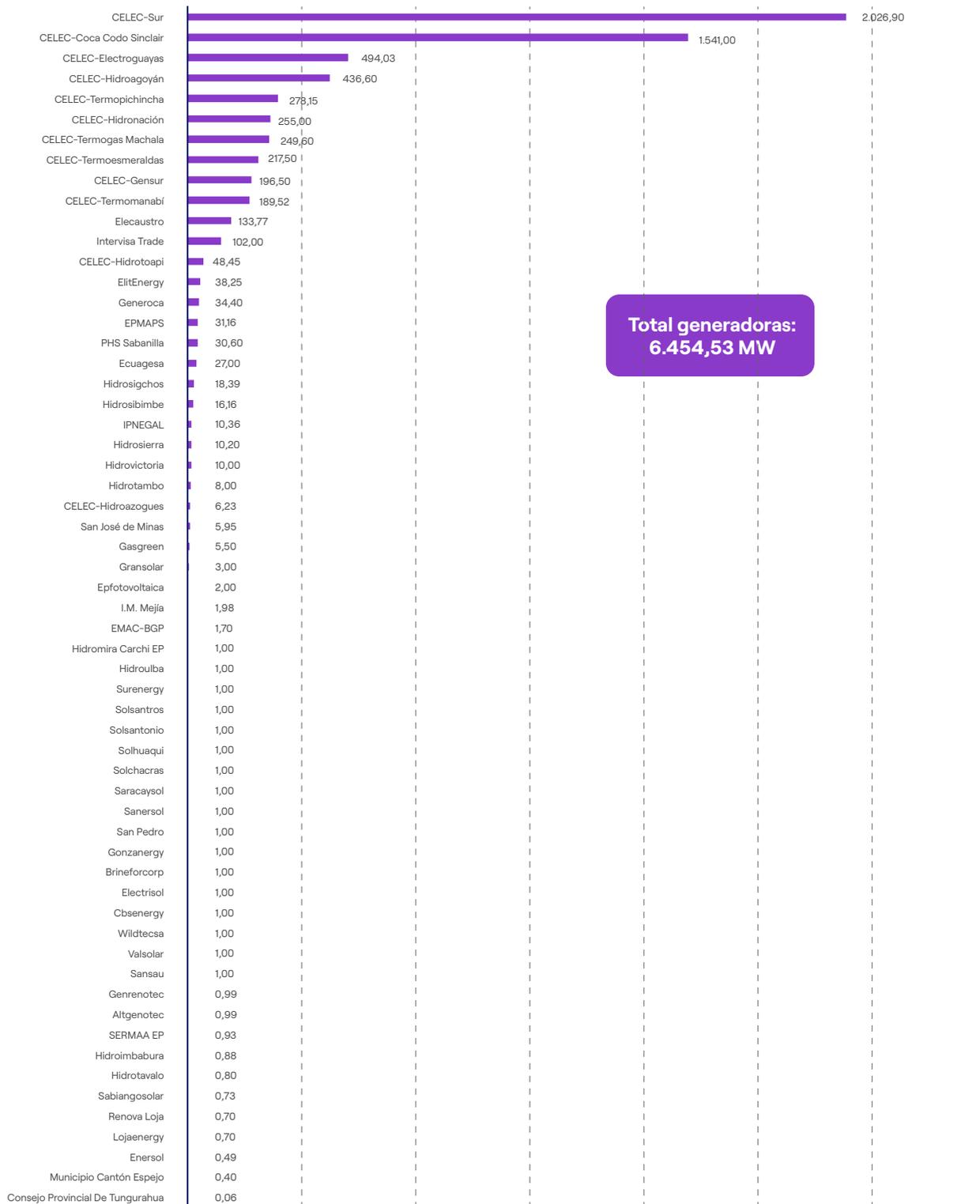
Se presenta información de demanda de potencia anual, mensual y diaria. Además, la demanda no coincidente de las distribuidoras con mayor participación en el mes de abril 2024.



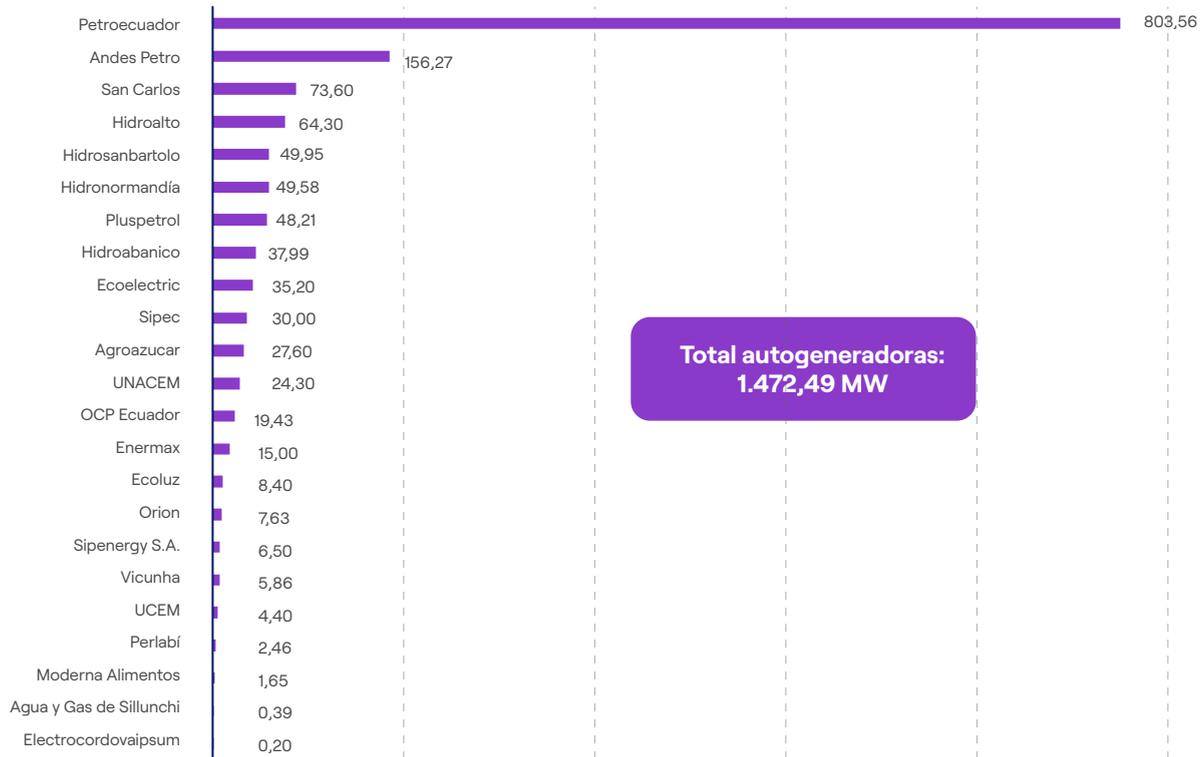
## 6.4 Cifras etapa de generación

Empresas de Generación, Autogeneración, Distribución y SGDA's  
 Potencia Efectiva (MW)  
 Abril 2024

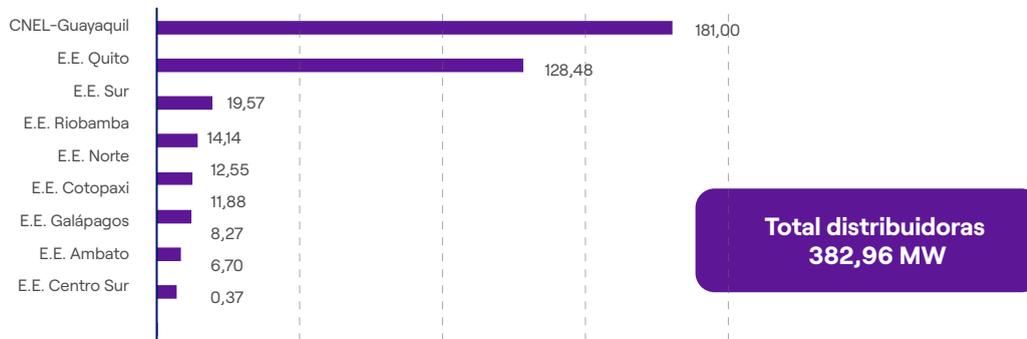
### Generadoras



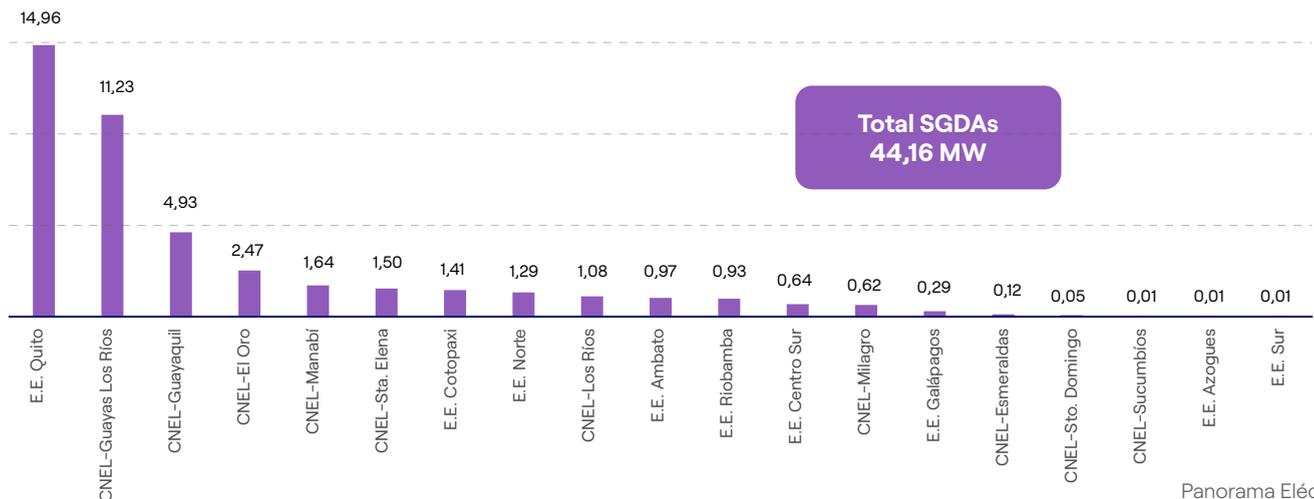
### Autogeneradoras



### Distribuidoras



### Sistemas de generación para autoabastecimiento - SGDA instalados en área de concesión de las Empresas Eléctricas de Distribución



## 6.5 Cifras de transmisión

### CELEC EP TRANSELECTRIC Abril 2024

#### Línea de Transmisión Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)

Tipo	Nivel de voltaje (kV)	Número de líneas #	Longitud (km)
Simple Circuito	138	41	2.023,19
	230	25	1.748,82
	500	6	610,00
<b>Total Simple Circuito</b>		<b>72</b>	<b>4.382,01</b>
Doble Circuito	138	15	530,38
	230	24	1.932,32
<b>Total Doble Circuito</b>		<b>39</b>	<b>2.462,70</b>
<b>Total General</b>		<b>111</b>	<b>6.844,71</b>

\* Incluyen líneas de interconexión con Colombia y Perú

#### Línea de Transmisión de Interconexión

Tipo	Nivel de voltaje (kV)	Nombre Línea	Longitud hasta la frontera (km)	Longitud Total (km)
Simple Circuito	138	Tulcán - Panamericana	7,50	15,50
<b>Total Simple Circuito</b>			<b>7,50</b>	<b>15,50</b>
Doble Circuito	239	Machala - Zorritos	52,72	110,00
		Pimampiro - Jamondino 1	63,02	138,70
		Pimampiro - Jamondino 2	54,20	132,00
<b>Total Doble Circuito</b>			<b>169,94</b>	<b>380,70</b>

#### Subestaciones y transformadores del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.)

Tipo de Subestación	Número de Subestaciones	Número de Transformadores	Capacidad Máxima (MVA)
Reducción	56	95	16.053,28
Móviles - reducción	4	4	195,00
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>99</b>	<b>16.248,28</b>

## 6.6 Cifras de distribución

### Empresas de distribución y comercialización Abril 2024

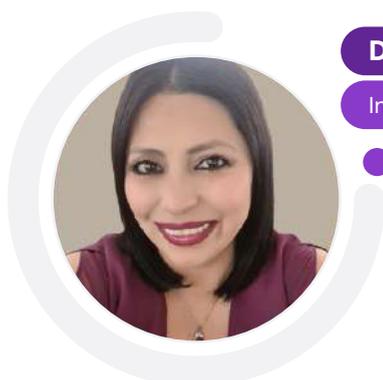
#### Infraestructura de Distribución

Empresa	 Media tensión	 Transformadores		 Baja tensión	 Luminarias		 Medidores
	km	#	MVA	km	#	kW	#
CNEL-Bolívar	3.382,72	6.540	101,22	3.656,42	28.793	4.737,75	72.154
CNEL-El Oro	5.842,18	16.051	718,60	3.877,34	103.346	19.211,31	277.667
CNEL-Esmeraldas	5.034,64	10.902	352,18	3.121,35	58.959	10.591,65	130.944
CNEL-Guayaquil	3.804,28	40.178	2.691,56	5.836,82	196.378	32.155,32	721.337
CNEL-Guayas Los Ríos	9.056,48	36.033	1.458,54	5.973,39	112.728	20.535,04	366.196
CNEL-Los Ríos	3.828,56	11.461	372,92	2.333,95	37.157	6.697,42	148.002
CNEL-Manabí	8.809,59	31.235	972,45	7.726,39	144.664	26.224,39	356.144
CNEL-Milagro	4.584,19	14.048	466,27	2.337,42	57.327	10.874,68	163.959
CNEL-Sta. Elena	1.632,53	8.370	384,96	1.617,08	45.302	8.343,44	107.048
CNEL-Sto. Domingo	10.404,46	25.560	532,51	6.876,15	94.032	16.651,87	273.103
CNEL-Sucumbíos	5.551,91	11.250	305,95	4.874,56	55.075	7.467,81	110.368
E.E. Ambato	6.329,34	17.627	487,66	8.992,91	158.226	22.869,74	310.288
E.E. Azogues	878,03	2.347	71,14	1.621,48	19.761	3.393,84	41.297
E.E. Centro Sur	10.992,29	29.142	948,72	13.582,43	183.090	33.408,81	441.541
E.E. Cotopaxi	4.568,89	10.996	328,00	6.256,42	66.063	9.913,56	157.086
E.E. Galápagos	371,43	1.316	51,08	278,20	6.736	804,23	14.581
E.E. Norte	6.621,88	19.754	563,37	7.688,19	133.174	19.290,56	279.278
E.E. Quito	9.399,08	44.494	3.121,83	11.332,11	308.801	48.968,46	1.270.430
E.E. Riobamba	4.586,26	15.404	317,21	5.749,17	82.055	10.926,69	190.933
E.E. Sur	8.877,16	20.713	408,93	5.892,13	78.041	9.735,80	231.965
<b>Totales</b>	<b>114.555,90</b>	<b>373.421</b>	<b>14.655,12</b>	<b>109.623,91</b>	<b>1.969.708</b>	<b>322.802,36</b>	<b>5.664.321</b>

## Tipo de Consumidores por Empresa Eléctrica de Distribución

Empresa	Consumidores regulados				 Total regulados	 Total no regulados	 Total
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros			
CNEL-Bolívar	66.847	3.727	118	1.470	72.162	-	72.162
CNEL-EI Oro	254.828	18.890	1.558	3.839	279.115	3	279.118
CNEL-Esmeraldas	121.187	7.623	316	2.461	131.587	3	131.590
CNEL-Guayaquil	638.605	74.907	2.139	5.705	721.356	47	721.403
CNEL-Guayas Los Ríos	339.418	20.079	804	5.938	366.239	14	366.253
CNEL-Los Ríos	138.110	7.696	330	1.864	148.000	2	148.002
CNEL-Manabí	328.323	18.727	490	5.331	352.871	8	352.879
CNEL-Milagro	149.030	12.056	189	1.667	162.942	2	162.944
CNEL-Sta. Elena	96.861	6.727	158	1.744	105.490	2	105.492
CNEL-Sto. Domingo	242.215	27.204	289	3.403	273.111	4	273.115
CNEL-Sucumbíos	95.310	12.282	447	2.504	110.543	1	110.544
E.E. Ambato	268.121	30.551	6.060	5.631	310.363	6	310.369
E.E. Azogues	37.552	2.812	428	602	41.394	1	41.395
E.E. Centro Sur	395.299	37.956	4.851	6.995	445.101	9	445.110
E.E. Cotopaxi	139.225	12.266	3.279	2.373	157.143	3	157.146
E.E. Galápagos	11.401	2.447	182	564	14.594	-	14.594
E.E. Norte	243.391	29.123	2.675	3.565	278.754	6	278.760
E.E. Quito	1.095.569	145.283	12.027	18.361	1.271.240	160	1.271.400
E.E. Riobamba	167.304	19.623	658	3.343	190.928	2	190.930
E.E. Sur	204.567	19.354	1.245	6.940	232.106	-	232.106
<b>Total</b>	<b>5.033.163</b>	<b>509.333</b>	<b>38.243</b>	<b>84.300</b>	<b>5.665.039</b>	<b>273</b>	<b>5.665.312</b>

## 6.7 Autores

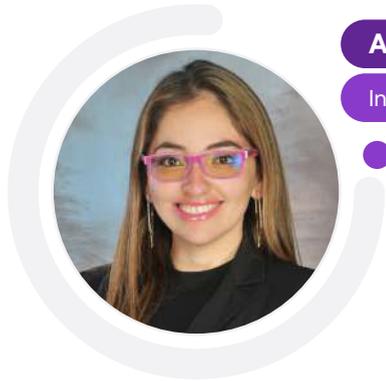


**Diana Cajamarca**

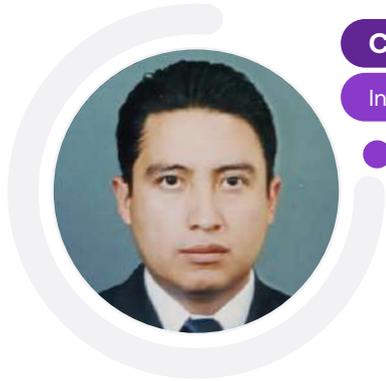
Ingeniera Electrónica

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER EL PERFIL DE LINKEDIN





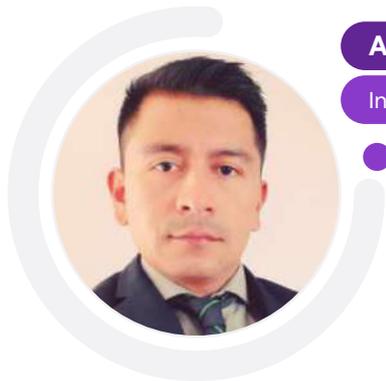
**Andrea Torres**  
Ingeniera Eléctrica



**Christian Junia**  
Ingeniero Eléctrico



**Rodrigo Briones**  
Ingeniero Eléctrico



**Andrés Chiles**  
Ingeniero Eléctrico



# Créditos de Elaboración y Edición

## COORDINACIÓN GENERAL

Eddy Fabricio Mendoza Gomez  
Coordinador Técnico de Regulación y  
Control Eléctrico

## DIRECCIÓN GENERAL

Francisco Angel Echeverria  
Director de Estudios e Información  
del Sector Eléctrico (E)

## DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Sofía Andrade



## AUSPICIO

Banco Interamericano de Desarrollo – BID



## CITAR ESTE DOCUMENTO COMO

Panorama Eléctrico, Edición 23  
Quito – Ecuador, julio 2024  
Todos los derechos reservados

PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024



@ControlRecursosyEnergia



@arc\_energiayrecursos



@ARC\_EnergiaEc

**Agencia de Regulación y Control de Energía  
y Recursos Naturales No Renovables**

EL NUEVO  
**ECUADOR**