

Agencia de Regulación y Control de Electricidad



PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

EDICIÓN 24 ► **SEPTIEMBRE**

EL NUEVO  
**ECUADOR**

Auspicio:







Subestación 4 - Azuay  
E.E. Centrosur



Ai



Centro Histórico de Quito - Pichincha  
E.E. Quito

Panorámica Loja - Loja  
E.E. Sur



Parque eólico - Loja  
CELEC Gensur



Ai










# PRESENTACIÓN

La Revista Panorama Eléctrico es una publicación bimensual, que recopila temas de relevancia para el sector eléctrico, mediante la presentación de artículos técnicos elaborados por profesionales con amplia experiencia, quienes aportan al desarrollo del país y del sector. Además, se incluyen las cifras actualizadas de los reportes anuales de la Estadística y Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano.

En esta edición, los artículos numerados del 1 al 5 abordan temas sobre arquitectura de datos, movilidad eléctrica, generación con energías renovables no convencionales, detalles del proyecto hidroeléctrico multipropósito La Agustina, entre otros.

A continuación, se presentan los artículos técnicos incluidos en la edición 24:

-  El papel de la Arquitectura de Datos en la evolución de empresas hacia un modelo Data-Driven y su impacto en la toma de decisiones.
-  Ecuador adopta la movilidad sostenible: tipos, beneficios y lo que debes saber sobre vehículos eléctricos.
-  Eficiencia de los paneles solares, su impacto en el costo de producción de la energía.
-  Proyecto Hidroeléctrico Multipropósito La Agustina.
-  Optimización del despacho económico de generación multiobjetivo: Aplicación de la eficiencia de Pareto en la evaluación de costos ambientales y de producción.

Las cifras actualizadas, correspondientes a junio de 2024, incluyen indicadores, información de infraestructura, demanda y balance energético nacional.

Estimado lector, reafirmando nuestro compromiso de ofrecerle contenido valioso para su gestión y entendimiento del sector eléctrico, esperamos que esta información le sea de gran utilidad.

**01** **CAPÍTULO**

**El papel de la Arquitectura de Datos en la evolución de empresas hacia un modelo Data-Driven y su impacto en la toma de decisiones**

..... 2

1.1	Resumen .....	2
1.2	Introducción .....	3
1.3	Antecedentes .....	4
1.4	Marco teórico .....	5
1.5	Gobernanza de datos y arquitectura de datos .....	11
1.5.1	Gobernanza de datos .....	11
1.5.2	Arquitectura de datos .....	12
1.5.2.1	Sistema Entidad-Relación (ER) .....	13
1.5.2.2	Sistema Dimensional .....	14
1.6	Herramientas para tratamiento de datos .....	17
1.7	Ejemplos de arquitecturas .....	18
1.8	Conclusiones .....	21
1.9	Recomendaciones .....	22
1.10	Referencias .....	23
	Autores .....	23

**02** **CAPÍTULO**

**Ecuador adopta la movilidad sostenible: tipos, beneficios y lo que debes saber sobre vehículos eléctricos**

..... 26

2.1	Introducción .....	26
2.2	Contexto y marco general .....	27
2.3	Tipos de Vehículos Eléctricos .....	27
2.4	Beneficios de la movilidad eléctrica .....	30
2.5	Retos y oportunidades .....	32
2.6	Lo que debes saber al comprar un Vehículo Eléctrico en Ecuador .....	33
2.6.1	Beneficios económicos en el Ecuador .....	33
2.6.2	Autonomía del Vehículo .....	33
2.6.3	Tiempo de carga .....	33
2.6.4	Infraestructura de carga .....	34
2.6.5	Costos de mantenimiento y operativos .....	34
2.6.6	Modelos disponibles y comparación .....	34
2.7	Conclusiones .....	35
2.8	Bibliografía .....	36
	Autores .....	36



# 03

## CAPÍTULO

### Eficiencia en los paneles solares, su impacto en el costo de producción de la energía

38

3.1	Introducción .....	38
3.2	Eficiencia en los sistemas fotovoltaicos y su impacto en el costo nivelado de energía (LCOE) .....	39
3.3	Producción de energía del sistema fotovoltaico .....	39
3.3.1	Producción de energía del sistema fotovoltaico .....	40
3.3.2	Selección y caracterización de los paneles fotovoltaicos .....	40
3.3.3	Diseño del sistema .....	41
3.3.4	Cálculo de pérdidas del sistema .....	41
3.3.5	Proyección de sombras, análisis morfológicos, topográficos, soleamiento y geométrico .....	42
3.3.6	Estimación de la producción de energía .....	44
3.4	Comparativa de la eficiencia en sistemas fotovoltaicos .....	45
3.4.1	Análisis comparativo .....	46
3.4.1.1	Costo de inversión vs. producción de energía .....	46
3.4.1.2	Evaluación de Costo de Inversión .....	47
3.4.1.3	Costo por punto porcentual de eficiencia .....	47
3.5	Análisis y conclusiones .....	47
3.5.1	Rentabilidad y sostenibilidad .....	47
3.5.2	Retornos de inversión en el mercado ecuatoriano .....	48
3.5.3	Reducción de costos energéticos .....	48
3.5.4	Incentivo y subvenciones .....	48
3.5.5	Ahorro de operación y mantenimiento .....	48
3.5.6	Aumento del valor de la propiedad .....	49
3.5.7	Ingreso por venta de excedentes .....	49
3.5.8	Impacto ambiental y responsabilidad social .....	49
3.5.9	Retorno sobre la inversión (ROI) .....	49
3.6	Recomendaciones .....	50
3.6.1	Factores clave para maximizar el ROI .....	50
3.7	Bibliografía .....	50
	Autores .....	51

# 04

## CAPÍTULO

### Proyecto hidroeléctrico multipropósito La Agustina

53

4.1	Introducción .....	53
4.2	Antecedentes .....	54
4.3	Descripción del proyecto .....	55
4.3.1	Obras principales .....	56



4.3.2	Obras complementarias .....	57
4.3.3	Etapas del proyecto .....	58
4.3.4	Desarrollo de los estudios .....	59
4.4	Beneficios a la población local y regional .....	67
4.4.1	Beneficios ambientales .....	67
4.4.2	Beneficios sociales .....	67
4.4.3	Beneficios económicos .....	68
	Autores .....	69

## 05 CAPÍTULO

### Optimización del despacho económico de generación multiobjetivo: aplicación de la eficiencia de Pareto en la evaluación de costos ambientales y de producción

..... 71

5.1	Introducción .....	71
5.2	Frontera Pareto eficiente .....	72
5.3	Modelado .....	77
5.3.1	Funciones objetivo .....	74
5.3.2	Restricciones .....	75
5.4	Datos .....	76
5.5	Resultados .....	77
5.6	Conclusiones .....	80
5.7	Referencias .....	81
	Autores .....	82

## 06 CAPÍTULO

### Cifras del sector eléctrico ecuatoriano

..... 84

6.1	Cifras principales del sector eléctrico – Junio 2024 .....	84
6.2	Potencia, producción de energía, consumos, facturación .....	85
6.3	Demanda de energía en el Sistema Nacional Interconectado .....	86
6.4	Cifras etapa de generación .....	87
6.5	Cifras etapa de transmisión .....	89
6.6	Cifras etapa de distribución .....	90
	Autores .....	92



CONTENIDO DE

# FIGURAS

<b>Figura Nro. 1.1</b>	Elementos clave de una estrategia data driven .....	3
<b>Figura Nro. 1.2</b>	Pilares principales para la conversión de una empresa a Data Driven (Morrison,2021) .....	4
<b>Figura Nro. 1.3</b>	Pirámide de pasos para lograr el Data Driven, las actividades de la empresa son base para la inteligencia empresarial. (Bernstein, 2009) .....	5
<b>Figura Nro. 1.4</b>	Pasos claves que llevan al Data Driven (Morrison, 2021).....	7
<b>Figura Nro. 1.5</b>	Pasos para convertir una empresa Data Driven .....	10
<b>Figura Nro. 1.6</b>	Diferentes niveles para toma de decisiones .....	10
<b>Figura Nro. 1.7</b>	Metodología para gobierno de datos basado en DAMA (Data Universe,2024) .....	11
<b>Figura Nro. 1.8</b>	Estructura típica de la información .....	12
<b>Figura Nro. 1.9</b>	Esquema básico del Sistema Entidad-Relación (Reis,2022) .....	13
<b>Figura Nro. 1.10</b>	Esquema básico del Sistema Dimensional .....	14
<b>Figura Nro. 1.11</b>	Capas consideradas para el flujo de datos (Huang, 2022) .....	15
<b>Figura Nro. 1.12</b>	Ejemplo de Arquitectura Lógica .....	16
<b>Figura Nro. 1.13</b>	Ejemplo de opciones de Programas para Arquitectura de Datos .....	17
<b>Figura Nro. 1.14</b>	Flujo y estrategia de datos .....	19
<b>Figura Nro. 1.15</b>	Implementación con herramienta BI .....	19
<b>Figura Nro. 1.16</b>	Arquitectura Medallón (Grecia Santamaria, 2023) .....	20
<b>Figura Nro. 1.17</b>	Arquitectura Medallón uso de herramientas .....	20
<b>Figura Nro. 2.1</b>	Componentes y funcionamiento de un vehículo híbrido [2] .....	27
<b>Figura Nro. 2.2</b>	Arquitectura y flujo energético de un vehículo híbrido enchufable [3] .....	28
<b>Figura Nro. 2.3</b>	Arquitectura y flujo energético de un vehículo eléctrico de batería [3] .....	29
<b>Figura Nro. 2.4</b>	Arquitectura y flujo energético de un vehículo eléctrico de celda de combustible .....	30
<b>Figura Nro. 2.5</b>	Pérdida de energía Combustión vs. Eléctrico [4] .....	31
<b>Figura Nro. 3.1</b>	Optimización del diseño con herramientas 3D .....	42
<b>Figura Nro. 3.2</b>	Modelación del recorrido solar <sup>2</sup> .....	43
<b>Figura Nro. 3.3</b>	Diagrama de producción del sistema fotovoltaico (Reporte PVSyst) .....	44
<b>Figura Nro. 3.4</b>	Perfil de la radiación solar durante el año .....	45
<b>Figura Nro. 4.1</b>	Esquema de obra de captación .....	56
<b>Figura Nro. 4.2</b>	Sedimentador de dos cámaras .....	56
<b>Figura Nro. 4.3</b>	Tanque de carga y de tubería a la salida del tanque .....	56
<b>Figura Nro. 4.4</b>	Esquema de casa de máquinas .....	57
<b>Figura Nro. 4.5</b>	Campamento .....	57
<b>Figura Nro. 4.6</b>	Sistema fotovoltaico .....	58
<b>Figura Nro. 4.7</b>	Levantamiento topográfico mediante sistema GNSS y tecnología LiDAR .....	59
<b>Figura Nro. 4.8</b>	Aforo mediante método ADCP .....	60
<b>Figura Nro. 4.9</b>	Aforo mediante método con flotadores .....	60



<b>Figura Nro. 4.10</b>	Regla limnimétrica instalada en 1975 .....	61
<b>Figura Nro. 4.11</b>	Caudal medio anual diario (período 1975 - 2000) .....	61
<b>Figura Nro. 4.12</b>	Esquema de galería de captación .....	62
<b>Figura Nro. 4.13</b>	Presión hidrostática en el tanque de carga .....	62
<b>Figura Nro. 4.14</b>	LT a 69 kV de 4,43 km de longitud de la SE Agustina a la SE Lentag .....	63
<b>Figura Nro. 4.15</b>	Espectros de peligro uniforme en roca, TR =475 y 2475 años. Escala semilogarítmica .....	64
<b>Figura Nro. 4.16</b>	Mapa de epicentros de sismos considerados para análisis determinista .....	64
<b>Figura Nro. 4.17</b>	Mapa de intersección con áreas protegidas y de conservación según el MAATE, 2024 .....	65
<b>Figura Nro. 4.18</b>	Registro fotográfico componente biótico .....	65
<b>Figura Nro. 5.1</b>	Esquematización del modelo de despacho multiobjetivo.....	72
<b>Figura Nro. 5.2</b>	Solución óptima del frente de Pareto .....	78
<b>Figura Nro. 5.3</b>	Aporte energético y costos por tipo de tecnología .....	79

CONTENIDO DE

TABLAS

<b>Tabla Nro. 1.1</b>	Herramientas libres y de pago para tratamiento de datos .....	17
<b>Tabla Nro. 3.1</b>	Ranking mundial de eficiencia de los módulos fotovoltaicos a mayo 2024 .....	41
<b>Tabla Nro. 3.2</b>	Parámetros de comparación de los SFV .....	46
<b>Tabla Nro. 3.3</b>	Resultados obtenidos .....	46
<b>Tabla Nro. 5.1</b>	Datos de la generación termoeléctrica .....	76
<b>Tabla Nro. 5.2</b>	Datos de la generación hidroeléctrica .....	76
<b>Tabla Nro. 5.3</b>	Demanda a ser abastecida incluido pérdidas .....	77
<b>Tabla Nro. 5.4</b>	Resultados de los eventos simulados .....	78
<b>Tabla Nro. 5.5</b>	Resultados emisiones .....	80
<b>Tabla Nro. 5.6</b>	Comparativa de costos y emisiones .....	80

# 01

CAPÍTULO

## El papel de la Arquitectura de Datos en la evolución de empresas hacia un modelo Data-Driven y su impacto en la toma de decisiones



# 01

## CAPÍTULO

# El papel de la Arquitectura de Datos en la evolución de empresas hacia un modelo Data-Driven y su impacto en la toma de decisiones

**Felipe Saldaña**

Magíster en Planificación y Gestión Energética  
Empresa Eléctrica Centrosur

**Eduardo Morales**

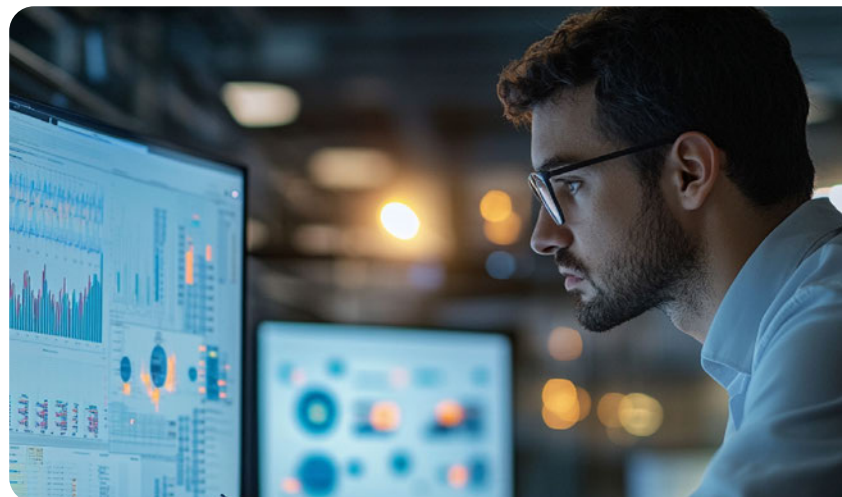
Magíster en Redes Inteligentes  
Empresa Eléctrica Centrosur

## 1.1 Resumen

Este documento explora una serie de preguntas clave, como por ejemplo; ¿Cómo utilizar los datos para optimizar los procesos?, ¿Cuál debería ser la perspectiva integral de los datos en toda la organización?, ¿Qué herramientas deberían implementarse para establecer una cultura de datos positiva y empoderar a los empleados?, entre otras, que las empresas deben abordar para gestionar eficazmente su información y mejorar sus procesos clave. Se analizan aspectos como la mejora de procesos mediante un enfoque basado en datos, la necesidad de una visión integral que abarque toda la organización y la implementación de herramientas que promuevan una cultura organizacional orientada a la información y empoderen a los empleados. Se enfatiza la importancia de utilizar los datos como un recurso activo para la toma de decisiones estratégicas, más allá de su función informativa, fomentando un análisis profundo que sustente decisiones basadas en evidencia.

Actualmente, muchas empresas siguen tomando decisiones con base en el instinto y la experiencia previa, sin aprovechar completamente la información que generan. Los informes suelen quedar archivados, desaprovechando oportunidades de mejora e innovación. Este artículo enfatiza la necesidad de una transición hacia una cultura basada en datos, lo cual requiere no solo la adopción de tecnología avanzada, sino también un cambio profundo en la mentalidad y comportamiento en todos los niveles de la empresa.

Además, se discuten las ventajas y desventajas de adoptar un enfoque basado en datos. Las ventajas incluyen una mayor eficiencia operativa, decisiones precisas y una mejor capacidad de adaptación a las necesidades y fluctuaciones del cliente. Sin embargo, también se identifican desafíos importantes, como la calidad de la información, la necesidad de conocimientos especializados y los costos relacionados con la tecnología y la capacitación del personal.

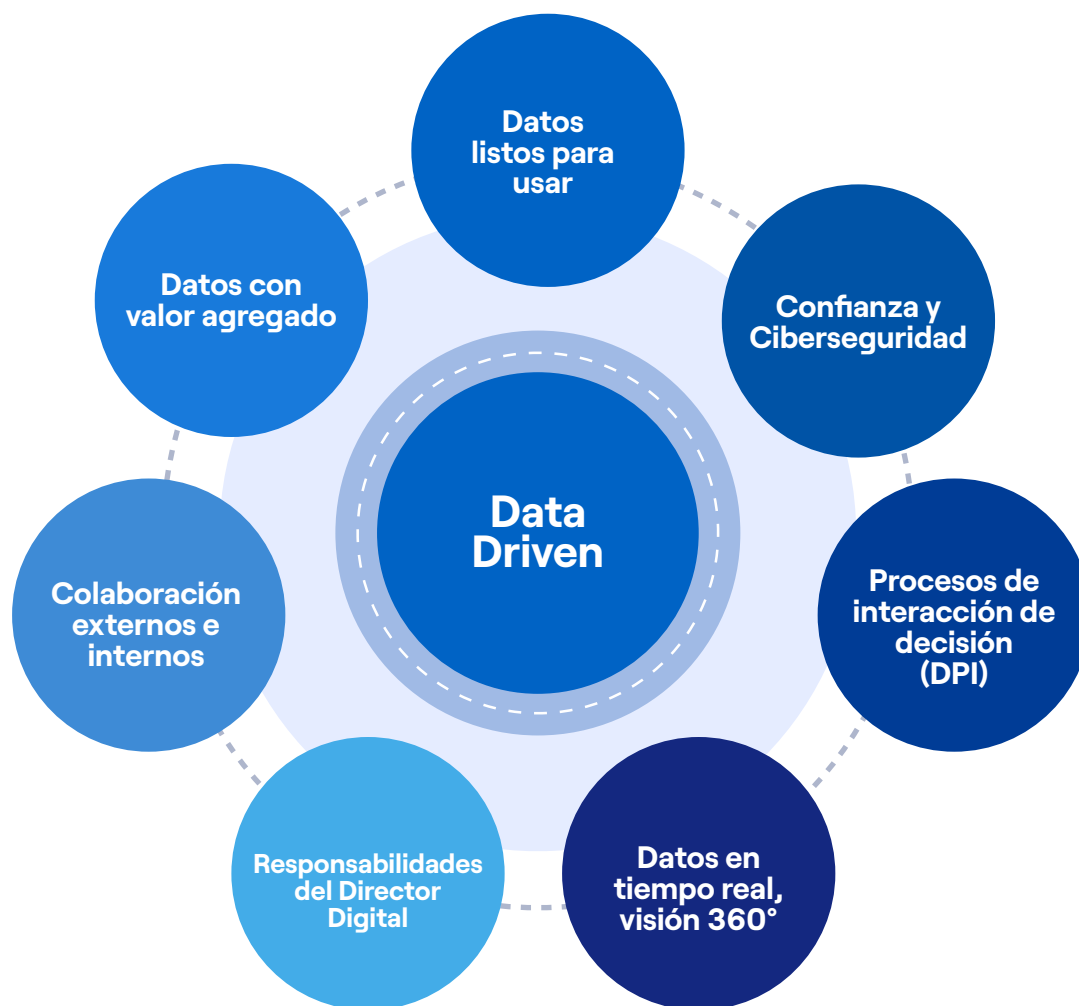


## 1.2 Introducción

El cambio cultural y la adaptación en las empresas eléctricas son esenciales para aprovechar el constante avance tecnológico, los algoritmos y las herramientas de recopilación, tratamiento y uso de los datos, todo esto con el objetivo de seguir siendo competitivos y evolucionar hacia una Empresa Data Driven.

Se analizan las estrategias necesarias para que las empresas maximicen el valor de la información recopilada, mejorando así su gestión, respondiendo principalmente a las siguientes preguntas:

**Figura Nro. 1.1:** Elementos clave de una estrategia data driven



¿Cuál debe ser la orientación de los datos para mejorar los procesos críticos del giro de negocio?

¿Cuál debe ser la visión integral de los datos en toda la empresa?

¿Cómo incorporar nuevos datos de manera efectiva en el modelo de negocio?



¿Qué mecanismos implementar para fomentar una sólida cultura del dato y capacitar a los empleados?

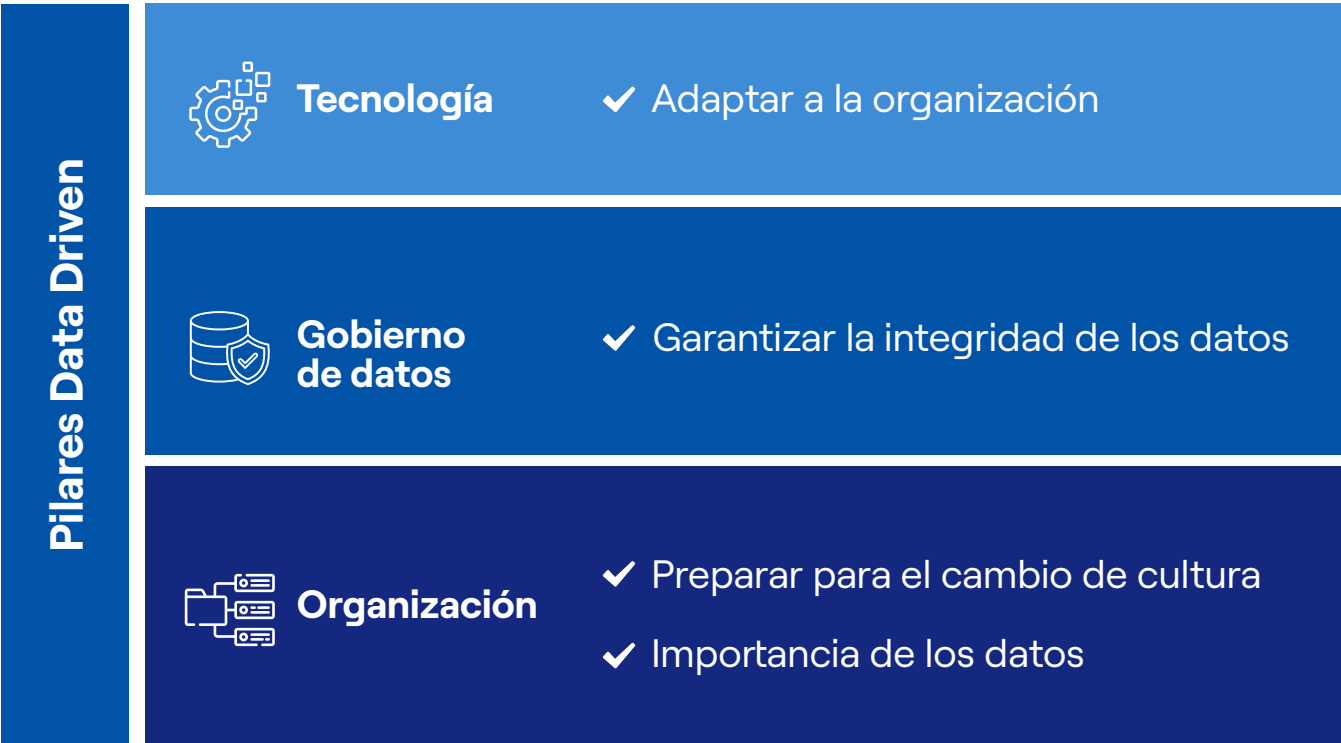
¿Qué enfoque se debe adoptar para analizar, interpretar, proyectar y pronosticar condiciones del entorno?



En muchas organizaciones, el uso de los datos se limita a la elaboración de informes y reportes, sin aplicar estrategias de modelado o análisis que generen conocimiento valioso para la toma de decisiones ejecutivas.

La implementación de una cultura Data Driven en las Empresas Eléctricas permitirá la innovación en todos sus procesos, la adaptación del modelo operativo, el diseño organizacional y alineamiento de estrategias con el talento humano, permitiendo no solo responder a los cambios del entorno, sino anticiparse a ellos.

**Figura Nro. 1.2:** Pilares principales para la conversión de una empresa a Data Driven. (Morrison,2021)



El acceso a información en tiempo real es clave para cambios necesarios, identificar rápidamente los beneficios comerciales y las implicaciones de no realizarlo.

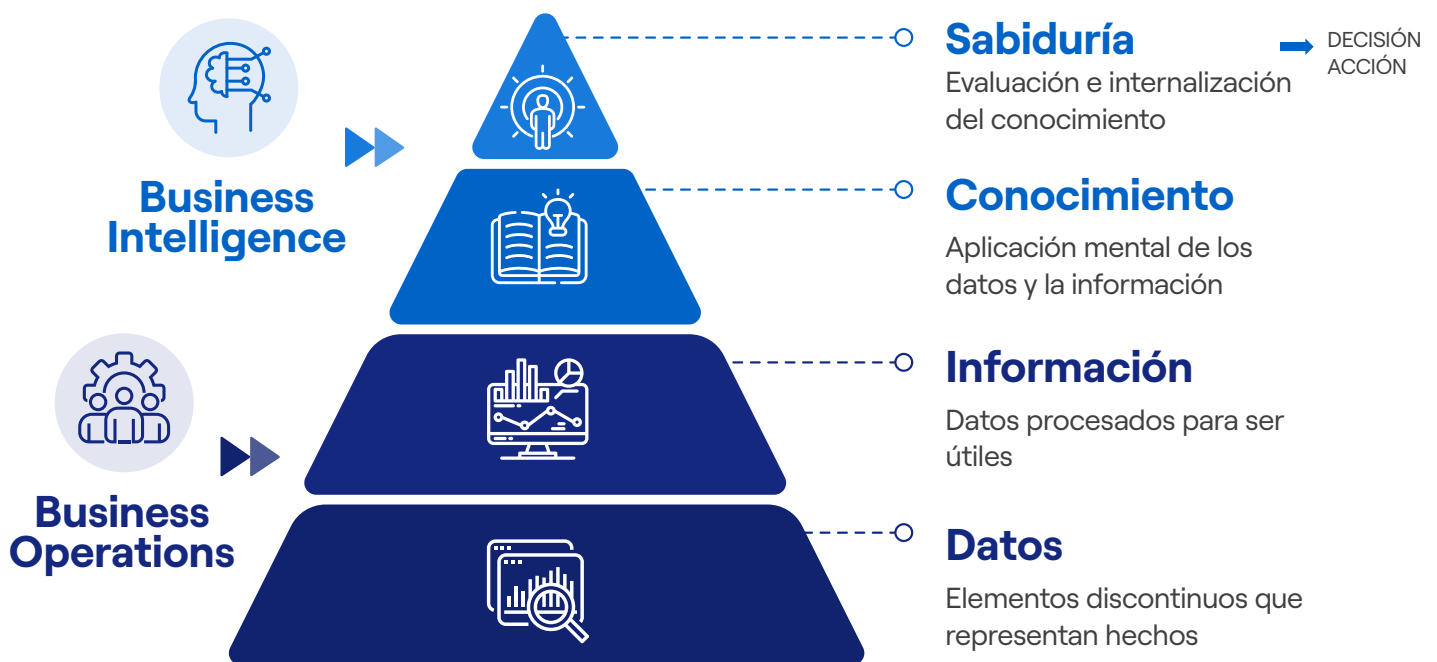
Por tanto, una organización requiere las herramientas, la infraestructura y la cultura adecuadas para realizar los cambios necesarios con agilidad, teniendo en cuenta el impacto en las personas.

### 1.3 Antecedentes

En la actualidad, algunas empresas aún toman decisiones y planifican sus estrategias basándose en intuiciones o experiencias previas, sin aprovechar plenamente la gran cantidad de información generada a diario por sus sistemas informáticos. El tratamiento de estos datos a menudo se limita a la elaboración de informes básicos que aportan escaso valor a los ejecutivos, cumpliendo solo con la formalidad de rendir cuentas sobre las actividades. Estos informes suelen ser archivados sin un uso posterior significativo.

Adoptar una cultura Data Driven, mediante la implementación de estrategias, herramientas y técnicas avanzadas para el tratamiento y análisis de información, permitirá transformar los datos en conocimiento valioso. Este enfoque facilitará la gestión empresarial desde una perspectiva fundamentada en evidencia, en lugar de depender exclusivamente de experiencias pasadas [2].

**Figura Nro. 1.3:** Pirámide de pasos para lograr el Data Driven, las actividades de la empresa son base para la inteligencia empresarial (Bernstein, 2009)



## 1.4 Marco teórico

### ¿Qué significa Data Driven?

El término Data Driven se refiere al uso de datos y análisis para tomar decisiones informadas en cualquier ámbito, desde el marketing hasta la investigación científica. Su objetivo es aprovechar la información disponible para obtener información valiosa y mejorar los resultados dentro de una organización.

Las empresas pueden utilizar el análisis de datos para comprender mejor a su mercado y tomar decisiones estratégicas precisas. Esto incluye examinar patrones de comportamiento, preferencias y tendencias, entre otros factores.

Para convertirse en una empresa Data Driven, es esencial una cultura organizacional que valore el uso de la información en todas sus áreas. Además, se requiere la implementación de herramientas tecnológicas adecuadas para el almacenamiento, procesamiento y visualización de datos.



## Importancia de los datos en la toma de decisiones

El uso de datos es fundamental para la toma de decisiones precisas y efectivas en cualquier empresa. Al basar las decisiones en información analítica, se minimizan los riesgos de errores costosos y se aumenta la probabilidad de éxito.

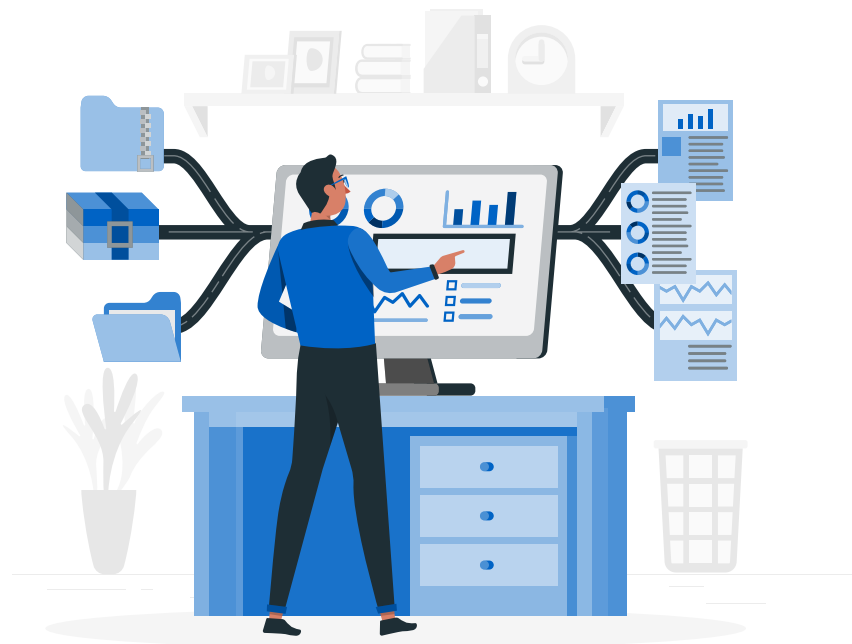
Los datos también permiten identificar patrones y tendencias que facilitan la predicción del comportamiento futuro del mercado y de los clientes, lo que permite a las empresas anticiparse a las necesidades de sus clientes y adaptarse rápidamente a los cambios en el entorno, como innovaciones tecnológicas, o fluctuaciones en la demanda.

## El proceso de Data Driven

El enfoque Data Driven comienza con la identificación de objetivos y preguntas clave. Luego, se recopilan, limpian y preparan los datos relevantes para su análisis. A partir de ahí, se aplican modelos analíticos para extraer información valiosa.

Los resultados se presentan mediante herramientas de visualización que facilitan la comprensión y permite tomar decisiones fundamentadas. Es importante destacar que este proceso es iterativo y continuo, ya que tanto los datos como las preguntas clave evolucionan, lo que requiere una constante adaptación del análisis.

Adoptar una cultura Data Driven en una organización implica la colaboración de todo el personal. Por lo tanto, este cambio cultural no solo requiere de mejoras en la infraestructura tecnológica, sino también una transformación en la mentalidad y perspectiva de todos los involucrados, directa o indirectamente.



## ¿Cómo implementar una estrategia Data Driven?

Para convertirse en una empresa Data Driven, es necesario seguir los siguientes pasos:

01

### Definir objetivos claros

Antes de recopilar datos, es importante establecer objetivos claros y medibles que guíen el proceso. Esto permitirá determinar qué datos son relevantes y deben ser recopilados.

02

Identificar las fuentes de datos

Una vez definidos los objetivos, se deben identificar las fuentes de datos disponibles. Estas pueden ser internas, como registros de ventas o transacciones, o externas, como análisis de mercado o datos demográficos.

03

Recopilar y gestionar los datos

Tras identificar las fuentes, es necesario recopilar los datos de manera sistemática y almacenarlos de forma segura. Esto puede requerir la implementación de un sistema de gestión de datos; y, en algunos casos, la contratación de personal especializado.

04

Analizar la información

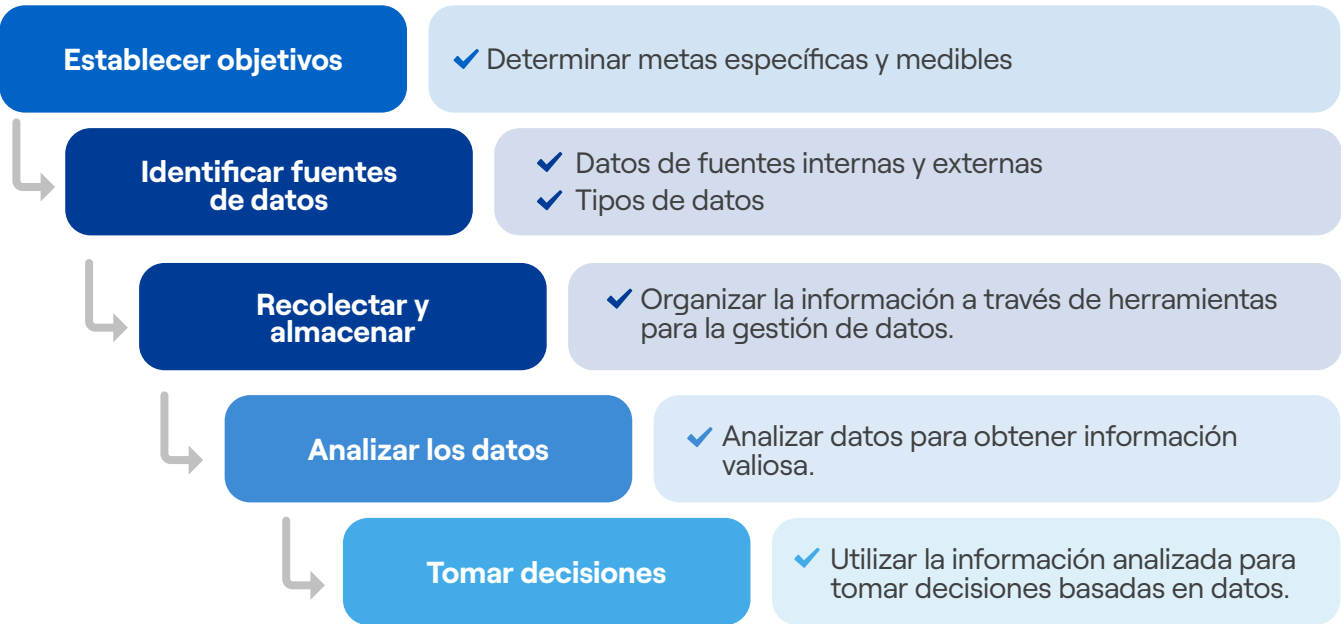
Con los datos recopilados, se procede a su análisis para obtener información valiosa. Esto puede incluir análisis estadísticos, identificación de patrones y tendencias, así como la creación de modelos predictivos. En la actualidad existen diversas herramientas de inteligencia de negocio, para llevar a cabo estos análisis de manera eficiente.

05

Tomar decisiones informadas

Finalmente, la información obtenida del análisis de datos debe ser utilizada para tomar decisiones estratégicas. Esto puede incluir la optimización de procesos, la identificación de oportunidades de crecimiento, la planificación presupuestaria y la mejora de la eficiencia operativa [5], en este punto se puede utilizar herramientas de ayuda visual que fácilmente agilizan la correcta toma de decisiones.

Figura Nro. 1.4: Pasos claves que llevan al Data Driven (Morrison, 2021)





Es importante destacar que para convertirse en una empresa Data Driven, el análisis de datos debe ser un proceso continuo y crear un compromiso con el personal para que siempre esté dispuesto a adaptarse y evolucionar a medida que se obtiene nueva información.

## ¿Cómo medir el éxito de una estrategia Data Driven?

Para medir el éxito de una estrategia Data Driven, es necesario establecer métricas claras y bien definidas, que reflejen los objetivos de la estrategia. Estas métricas pueden incluir indicadores como el aumento en las ventas, la reducción de costos o la mejora en la satisfacción del cliente, entre otros. En el sector eléctrico, métricas adicionales pueden incluir la reducción de pérdidas en la red de distribución, la mejora en la eficiencia energética, la disminución del tiempo de respuesta ante fallas, la optimización en la gestión de la demanda, y el incremento en la precisión de las predicciones de consumo. Estas métricas permiten evaluar de manera integral el impacto de la estrategia Data Driven en la operación y sostenibilidad del sistema eléctrico.

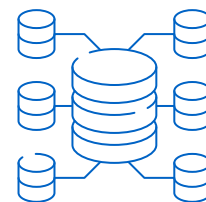
Es importante monitorear regularmente estas métricas y ajustar la estrategia según sea necesario para asegurarse de que se estén logrando los objetivos establecidos.

## Beneficios y desafíos Data Driven

### Beneficios

Adoptar un enfoque Data Driven ofrece múltiples beneficios, entre ellos, una mayor eficiencia operativa, toma de decisiones más precisa y una mayor capacidad para adaptarse a los cambios en el mercado. Este enfoque permite identificar oportunidades de crecimiento, mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente.

El análisis de datos también proporciona la capacidad de predecir tendencias futuras y anticiparse a los cambios del mercado, optimizando procesos comerciales y operativos para maximizar ingresos. En última instancia, una cultura Data Driven puede impulsar el éxito empresarial y proporcionar una ventaja competitiva sostenible. Las empresas que adoptan este enfoque son capaces de establecer procesos que facilitan a líderes y equipos, la adquisición del conocimiento necesario.



**Entre los beneficios más destacados de ser una empresa Data Driven se incluyen:**

- ✓ Mejorar resultados financieros.
- ✓ Aumento de la productividad.
- ✓ Mayor capacidad de innovación.
- ✓ Realizar predicciones para eventos futuros.

## Desafíos

Aunque hay muchos beneficios potenciales, existen desafíos importantes a considerar. Uno de los principales es la calidad de los datos, ya que información incompleta o inexacta pueden llevar a conclusiones erróneas.

Además, se requiere personal con habilidades especializadas para recopilar, analizar e interpretar los datos, lo que puede implicar una inversión significativa en tecnología y capacitación.

Otro reto es el desarrollo de la infraestructura y la cultura organizacional necesaria para realizar cambios ágiles, considerando su impacto en las personas.

**Para evolucionar a una organización Data Driven, las empresas deben atravesar cinco niveles de madurez:**

01

### **Empresas resistentes a los datos**

Se resisten al cambio y no ven la necesidad de evolucionar.

02

### **Empresas conscientes de los datos**

Reconocen el valor de los datos, pero carecen de la capacidad para extraer su valor.

03

### **Empresas guiadas por los datos**

Utilizan los datos para tomar decisiones, aunque no de forma estratégica, aprendiendo de sus errores y mejorando procesos.

04

### **Empresas con conocimiento de los datos**

Analizan los datos estratégicamente, enfocándose en entender por qué detrás de ellos y extrayendo insights valiosos.

05

### **Empresas impulsadas por los datos**

No solo analizan datos y extraen conocimientos, sino que también son capaces de anticipar lo que vendrá a continuación.

Un desafío adicional es superar el efecto HiPPO (Highest Paid Person's Opinion) [2] donde las decisiones estratégicas se basan en la opinión de la persona con mayor rango o salario, independientemente de su conocimiento o experiencia. Esta práctica puede resultar en decisiones inapropiadas o perjudiciales, ya que ignora información relevante que, con la tecnología actual, es accesible y valiosa para la toma de decisiones.

Figura Nro. 1.5: Pasos para convertir una empresa Data Driven

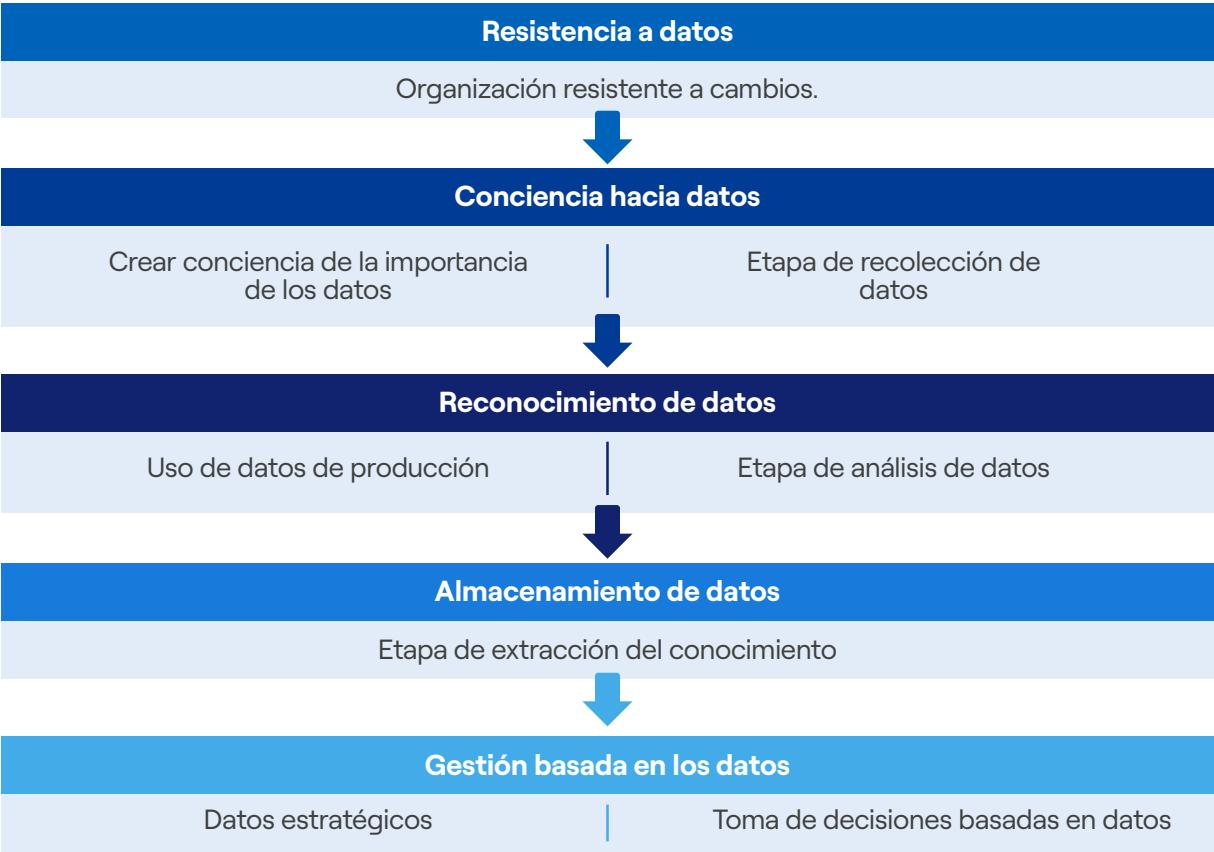
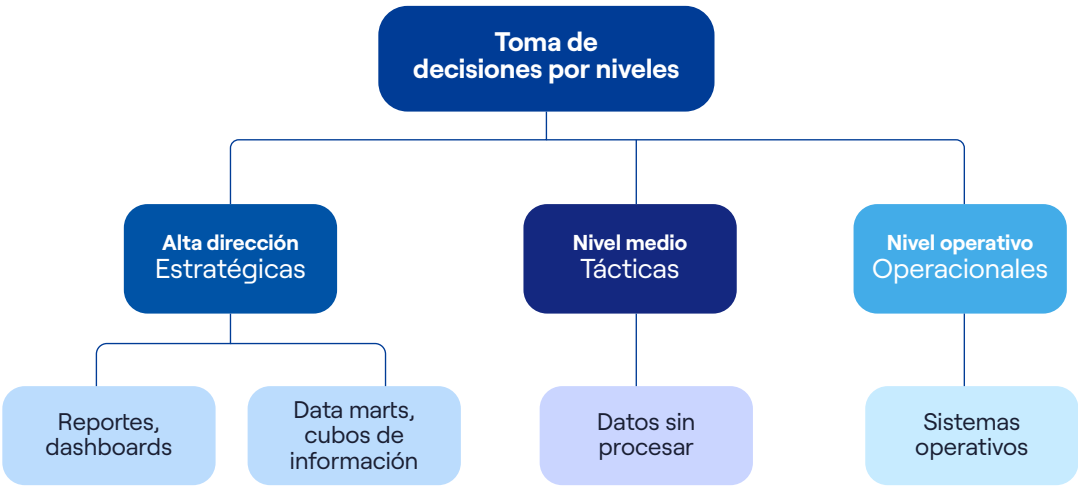


Figura Nro. 1.6: Diferentes niveles para toma de decisiones





# 1.5 Gobernanza de datos y arquitectura de datos

## 1.5.1 Gobernanza de datos

La gobernanza de datos es uno de los pilares fundamentales de una cultura Data Driven. Se enfoca en gestionar la disponibilidad, usabilidad, integridad y seguridad de la información dentro de una organización, alineándose con normativas legales y políticas internas.

Los principales aspectos de una gobernanza de datos efectiva incluyen:

- ✓ Mejora de la calidad de los datos.
- ✓ Aseguramiento del cumplimiento normativo.
- ✓ Implementación de controles de seguridad y privacidad.
- ✓ Optimización de la eficiencia operativa.
- ✓ Mejora en la toma de decisiones.
- ✓ Fomento de nuevas iniciativas en inteligencia de negocios (BI) y analítica avanzada.

Para apoyar y consolidar la cultura de gestión de datos, el gobierno de datos puede implementarse mediante la metodología DAMA (Data Management Association - Framework) [1], que abarca desde la gestión de metadatos hasta la arquitectura, almacenamiento de datos (Data Warehousing) y seguridad, entre otros aspectos clave.

Figura Nro. 1.7: Metodología para gobierno de datos basado en DAMA (Data Universe,2024)

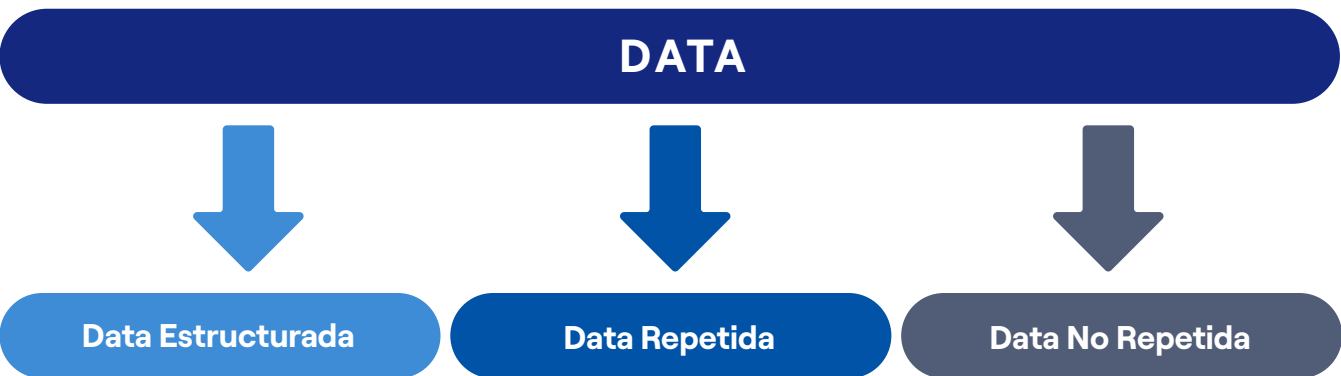


## 1.5.2 Arquitectura de Datos

La arquitectura de datos es fundamental para diseñar e implementar sistemas robustos y eficientes. Una arquitectura bien estructurada garantiza la calidad, integridad y disponibilidad de la información. Los componentes clave incluyen [3]:



**Figura Nro. 1.8:** Estructura típica de la información



La Figura Nro. 1.8 presenta la importancia de la categorización y clasificación de los datos en tres tipos principales: data estructurada, data repetida y data no repetida. La sección superior representa la fuente general de datos, indicando que todos los datos disponibles necesitan ser procesados y categorizados. El bloque que representa datos estructurados, organizados en un formato específico permite un fácil acceso y análisis. El bloque que representa datos repetidos, son duplicados deben ser gestionados para evitar redundancias y mejorar la eficiencia del almacenamiento y procesamiento. El bloque de datos no repetidos, únicos y esenciales para análisis precisos y la toma de decisiones basadas en datos confiables. Un buen tratamiento de los datos mejora la eficiencia en el almacenamiento; la calidad del acceso y, análisis de la información, y simplifica la gestión general de los datos, promoviendo una mejor organización y utilización de los recursos disponibles.

La arquitectura de datos constituye la columna vertebral de cualquier sistema de información, proporcionando una estructura que garantiza la calidad, integridad y disponibilidad de los datos. Esta arquitectura no solo facilita la recolección y almacenamiento de datos, sino que también optimiza su procesamiento y análisis. En el corazón de esta arquitectura se encuentran los modelos de datos, que definen cómo se estructuran y relacionan los datos dentro del sistema. [4]

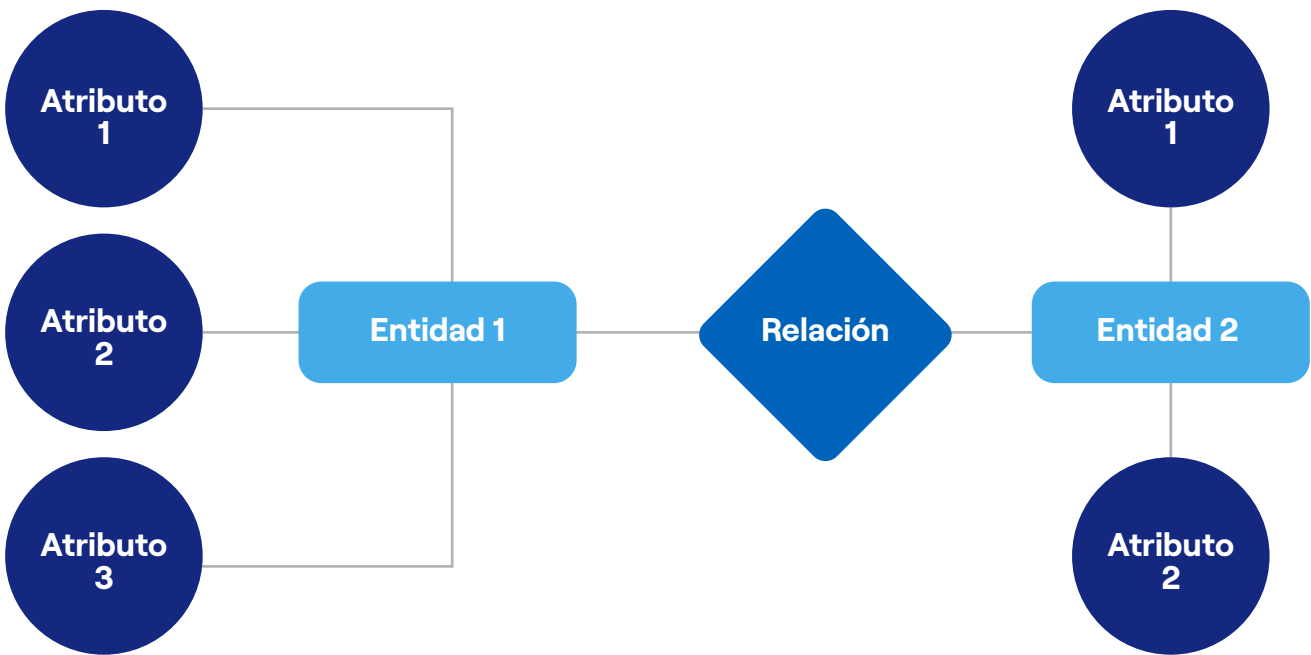
Dos de los modelos de datos más prevalentes en la industria son el modelo Entidad-Relación (ER) y el modelo Dimensional. Estos modelos, aunque diferentes en su enfoque y aplicación, desempeñan roles cruciales en la implementación de sistemas de datos efectivos.

### 1.5.2.1 Sistema Entidad-Relación (ER)

El modelo Entidad-Relación es adecuado para sistemas operacionales y transaccionales, donde la integridad y las relaciones detalladas entre entidades son cruciales [3]. Este modelo utiliza:

- ✓ **Entidades:** Objetos del mundo real (por ejemplo: clientes, productos) de los que trata la base de datos.
- ✓ **Atributos:** describen las propiedades de las entidades (por ejemplo: nombre del cliente, precio del producto).
- ✓ **Relaciones:** La asociación entre entidades crea un vínculo (por ejemplo: un cliente compra un producto).

Figura Nro. 1.9: Esquema básico del Sistema Entidad-Relación (Reis,2022)

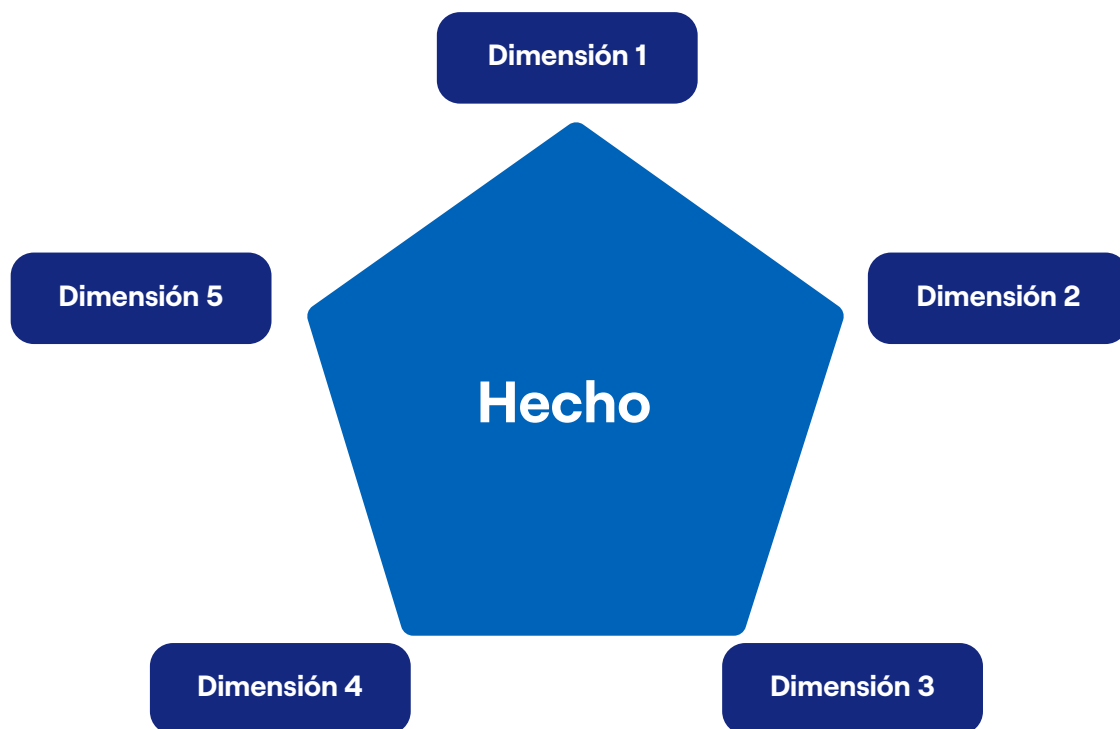


### 1.5.2.2 Sistema Dimensional

El modelo Dimensional se utiliza principalmente en sistemas de inteligencia de negocios y data warehousing, donde el objetivo es optimizar el rendimiento de consultas y análisis [4]. Este modelo se caracteriza por:

- ✓ **Hechos:** Eventos medibles (por ejemplo: ventas).
- ✓ **Dimensiones:** Contextos descriptivos del hecho (por ejemplo: tiempo, ubicación, producto).
- ✓ **Esquemas Estrella y Copo de Nieve:** Estructuras para organizar hechos y dimensiones.

**Figura Nro. 1.10:** Esquema básico del Sistema Dimensional

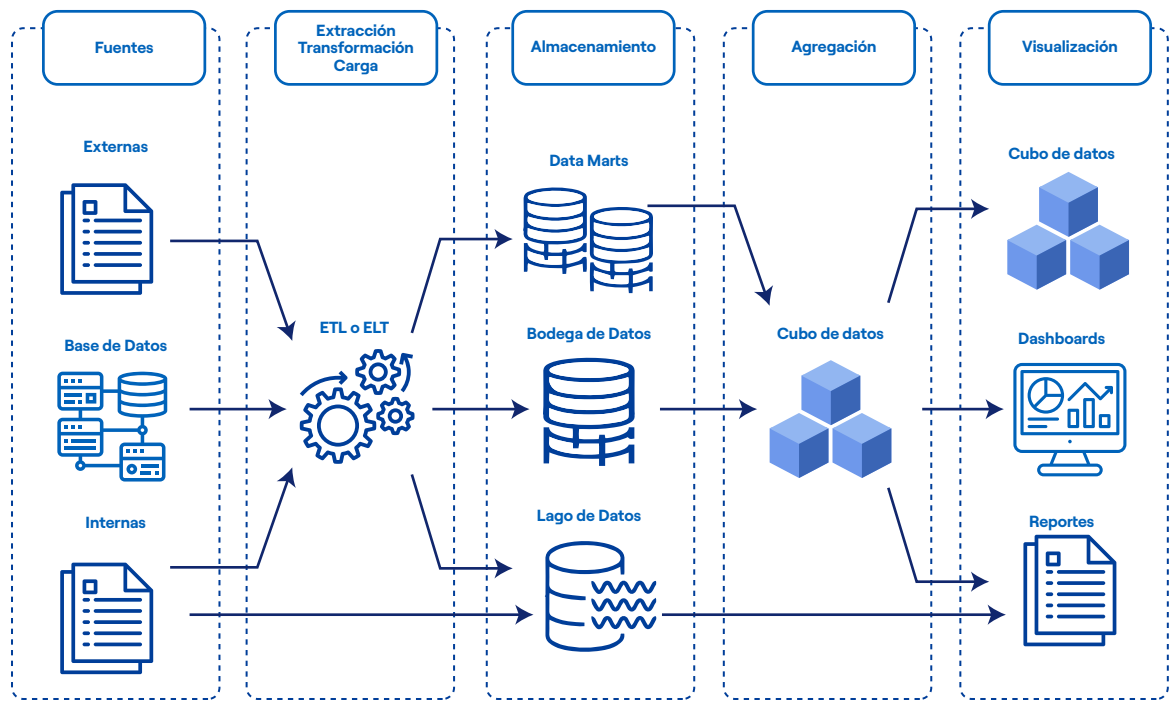


Considerando las diferencias entre Sistema Entidad-Relación y Dimensional, la arquitectura de datos permite mejorar el proceso tanto de analítica de datos como el de toma de decisión, teniendo como eje principal el almacén de datos o data warehousing.

Sin embargo, para que la data esté lista para su uso, previamente debe pasar por un tratamiento de datos sea este un ETL o ELT (estrategia de datos), luego de ello depositar la data en el almacén de datos y desde este, poder obtener cubos de información, dashboard y reportes [6].



Figura Nro. 1.11: Capas consideradas para el flujo de datos (Huang, 2022)



Dependiendo del objetivo y experiencia en el uso de la arquitectura de datos, esta puede variar o escalar según la necesidad, para ello conviene definir el alcance estableciendo su operación, en este sentido es necesario considerar:

Arquitectura Lógica

Arquitectura Técnica

### Arquitectura Lógica:

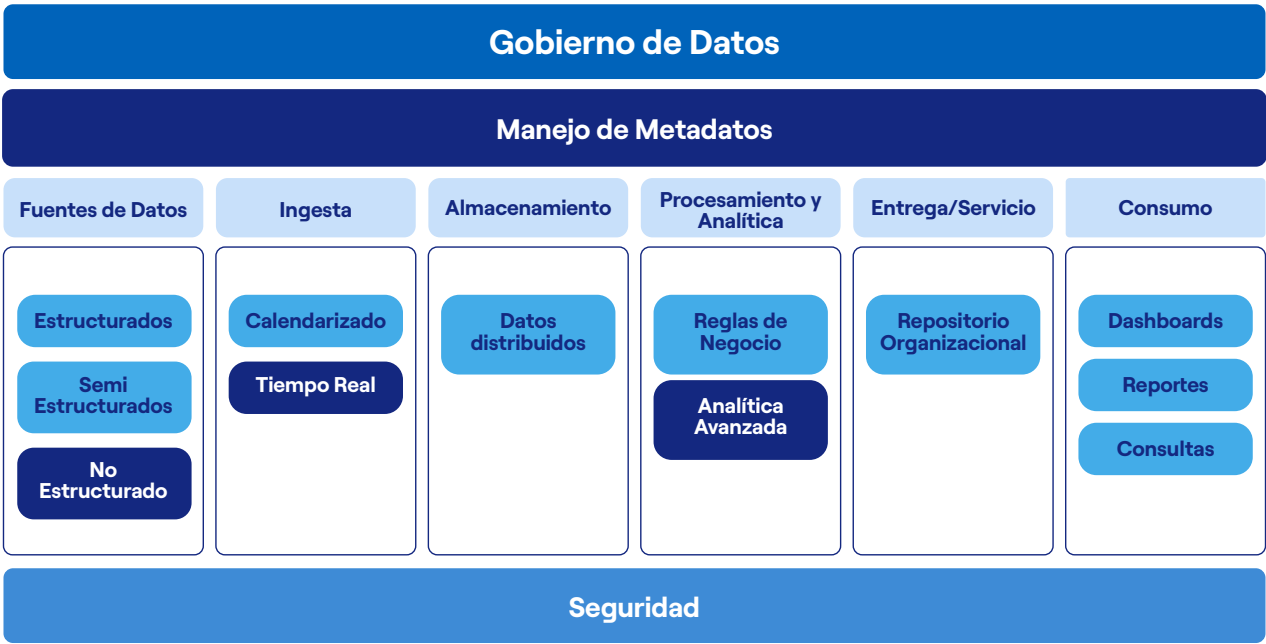
Determina los procesos a considerar por parte de la arquitectura permitiendo dimensionar su estado presente y futuro de manera que esta se pueda ir acoplando de acuerdo con las necesidades.

Esta parte de la arquitectura contempla los siguientes procesos:

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| ✓ Tratamiento de metadata.   | ✓ Entrega de datos.                        |
| ✓ Gobierno de datos.         | ✓ Consumo.                                 |
| ✓ Fuentes de datos.          | ✓ Accesos federados y asignación de roles. |
| ✓ Ingesta.                   | ✓ Automatizaciones.                        |
| ✓ Almacenamiento.            | ✓ Calidad y seguridad de los datos.        |
| ✓ Procesamiento y analítica. |  |

Un ejemplo de arquitectura lógica se presenta a continuación:

Figura Nro. 1.12: Ejemplo de Arquitectura Lógica



Arquitectura Técnica:

Con base al dimensionamiento de la arquitectura lógica, se procede a la evaluación e identificación de herramientas con las cuales se puede trabajar en la arquitectura y dependerá mucho de la solución que se desee dar, contemplando para ello aspectos tales como:

- ✓ Volumen de datos y tasa de crecimiento.
- ✓ Disponibilidad de data de los sistemas.
- ✓ Desarrollos para adquisición de datos.
- ✓ Ampliación de licencias para obtener datos de las fuentes.
- ✓ Solución de arquitectura On Permise o Cloud.
- ✓ Herramientas Open Source, community, o de pago.
- ✓ Inclusión de entorno de prueba y/o producción.

Identificado estos aspectos es posible determinar el uso de herramientas apropiadas apegados al propósito de uso y disponibilidad de la data [4].

Figura Nro. 1.13: Ejemplo de opciones de Programas para Arquitectura de Datos



## 1.6 Herramientas para tratamiento de datos

En el contexto actual de la transformación digital, las organizaciones buscan constantemente aprovechar los datos para tomar decisiones informadas y estratégicas. Las herramientas Machine Learning, Artificial Intelligence and Data (MAD) juegan un papel crucial en este proceso, permitiendo la recolección, procesamiento, análisis y visualización de grandes volúmenes de datos. Estas herramientas varían en funcionalidad y costo, ofreciendo soluciones que se adaptan a diferentes necesidades y presupuestos.

A continuación, se presenta una lista de herramientas, clasificadas en gratuitas y de pago [4]. Esta clasificación facilitará la identificación de la herramienta más adecuada según los requisitos específicos de cada organización.

Tabla Nro. 1.1: Herramientas libres y de pago para tratamiento de datos (1/2)

Herramientas Gratuitas	Herramientas de Pago
<b>Google Data Studio</b>  Herramienta de visualización de datos que permite crear informes interactivos y cuadros de mando.	<b>Tableau</b>  Herramienta de visualización de datos líder en la industria.
<b>Apache Hadoop</b>  Framework de software que permite el procesamiento distribuido de grandes conjuntos de datos.	<b>Microsoft Power BI</b>  Conjunto de servicios de análisis de negocios de Microsoft.

Tabla Nro. 1.1: Herramientas libres y de pago para tratamiento de datos (2/2)

Herramientas Gratuitas	Herramientas de Pago
<b>Apache Spark</b>  Motor de análisis unificado para procesamiento de grandes volúmenes de datos.	<b>Qlik Sense</b>  Plataforma de análisis y visualización de datos.
<b>KNIME</b>  Plataforma de análisis de datos que permite crear flujos de trabajo visuales.	<b>SAS</b>  Suite de software para análisis avanzado y BI.
<b>RapidMiner</b>  Plataforma de análisis predictivo con entorno gráfico para preparación y modelado de datos.	<b>Looker</b>  Plataforma de BI y análisis de datos adquirida por Google.
<b>Orange</b>  Suite de software de minería de datos y aprendizaje automático.	<b>IBM Cognos Analytics</b>  Plataforma de BI y análisis de IBM.
<b>Tableau Public</b>  Versión gratuita de Tableau para crear visualizaciones y compartirlas públicamente.	<b>Domo</b>  Plataforma de BI y visualización de datos basada en la nube.

Estas herramientas proporcionan una amplia gama de capacidades, desde la visualización interactiva y la integración de múltiples fuentes de datos hasta el análisis avanzado y el procesamiento distribuido. Al seleccionar las herramientas adecuadas se puede mejorar significativamente la capacidad para explotar los datos y obtener valiosos insights para la toma de decisiones.

### 1.7 Ejemplos de arquitecturas

Dependiendo de la experiencia y conocimiento es posible armar diversos tipos de arquitecturas y uso de estrategias pudiendo obtener desde Datamart hasta Data Warehouse y/o Data Lake [10].

A continuación, se presentan algunos ejemplos de arquitecturas y uso de herramientas.



Figura Nro. 1.14: Flujo y estrategia de datos

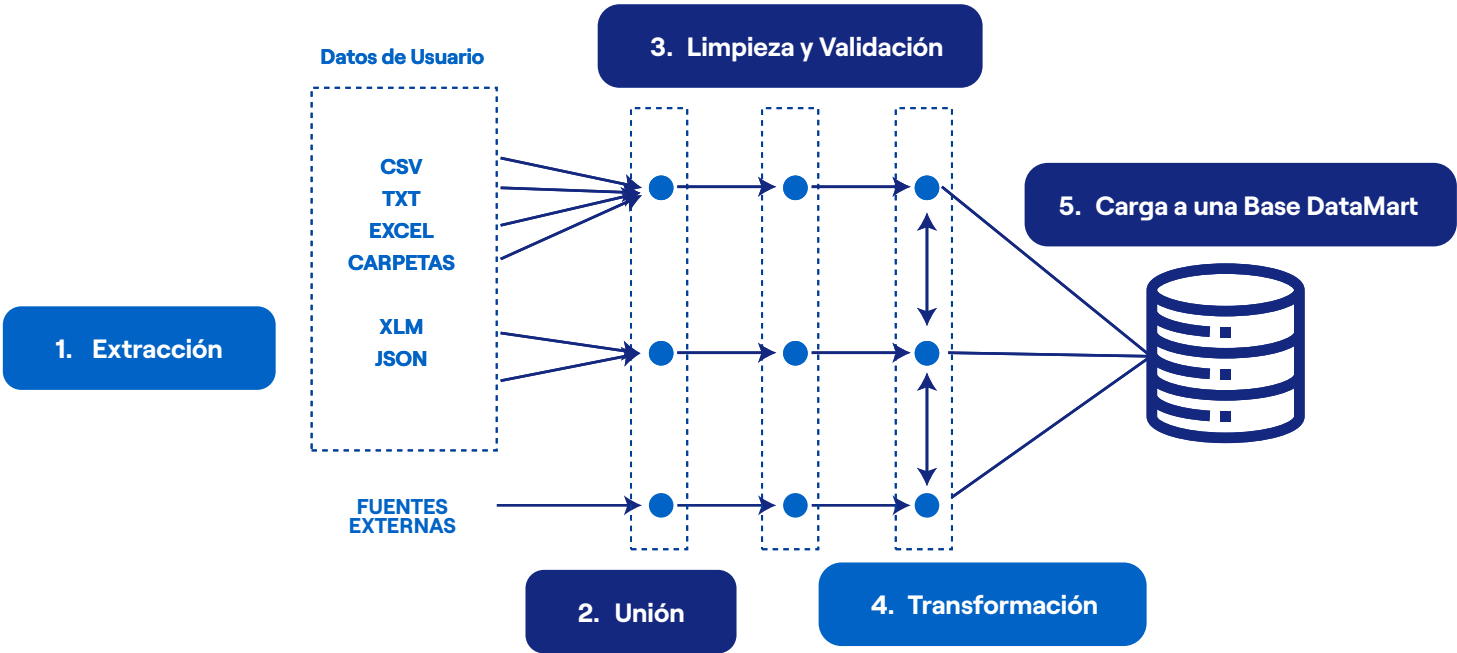


Figura Nro. 1.15: Implementación con herramienta BI

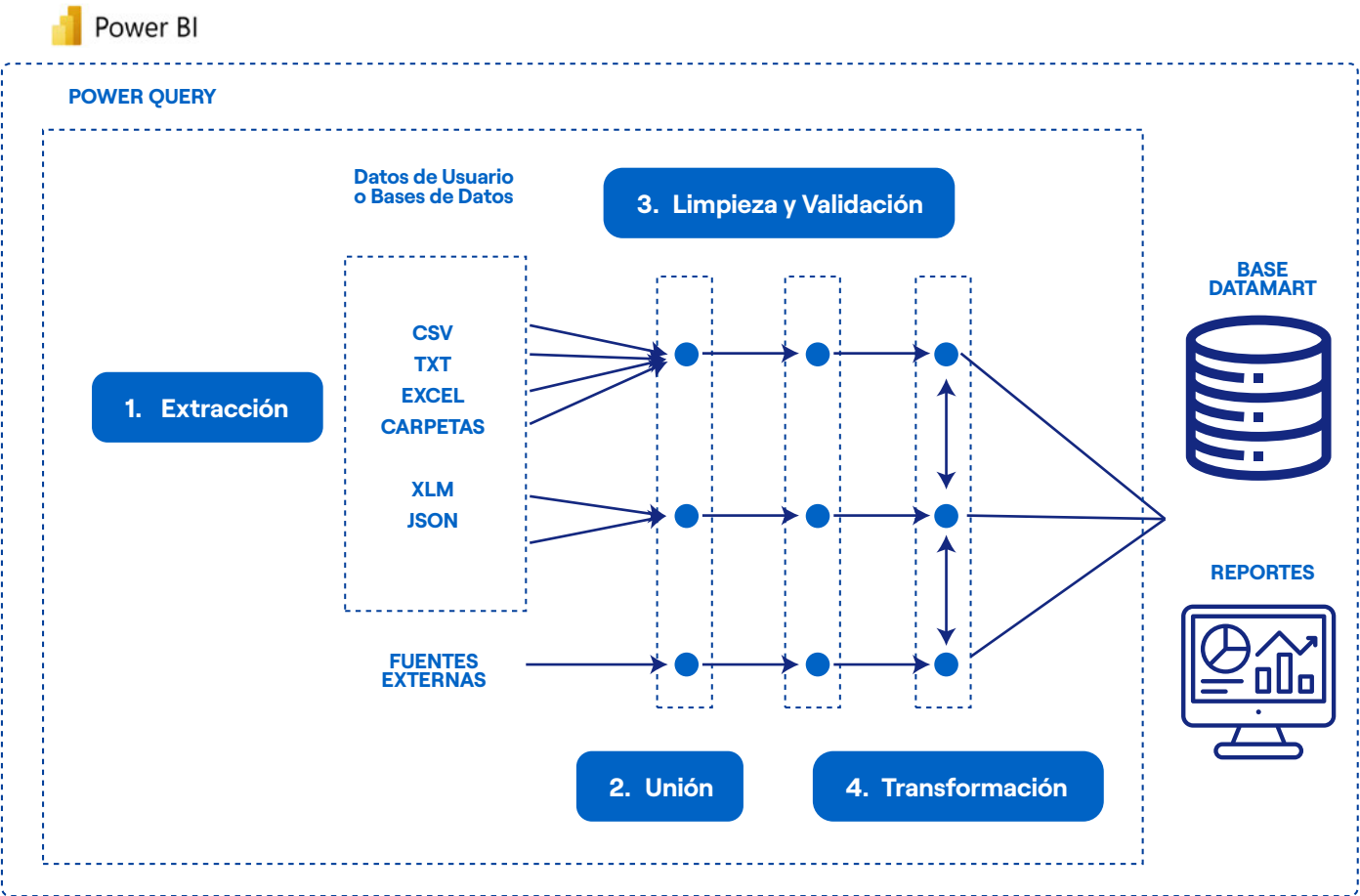


Figura Nro. 1.16: Arquitectura Medallón (Grecia Santamaria, 2023)

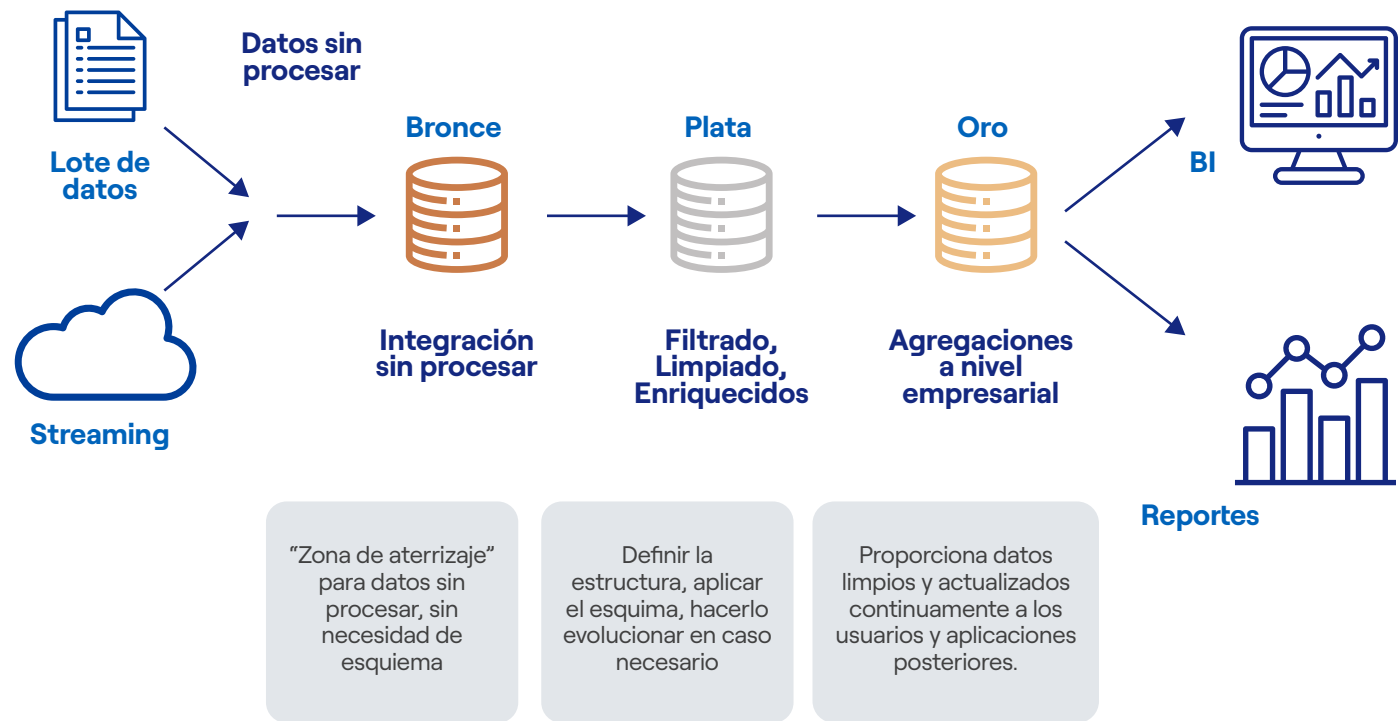
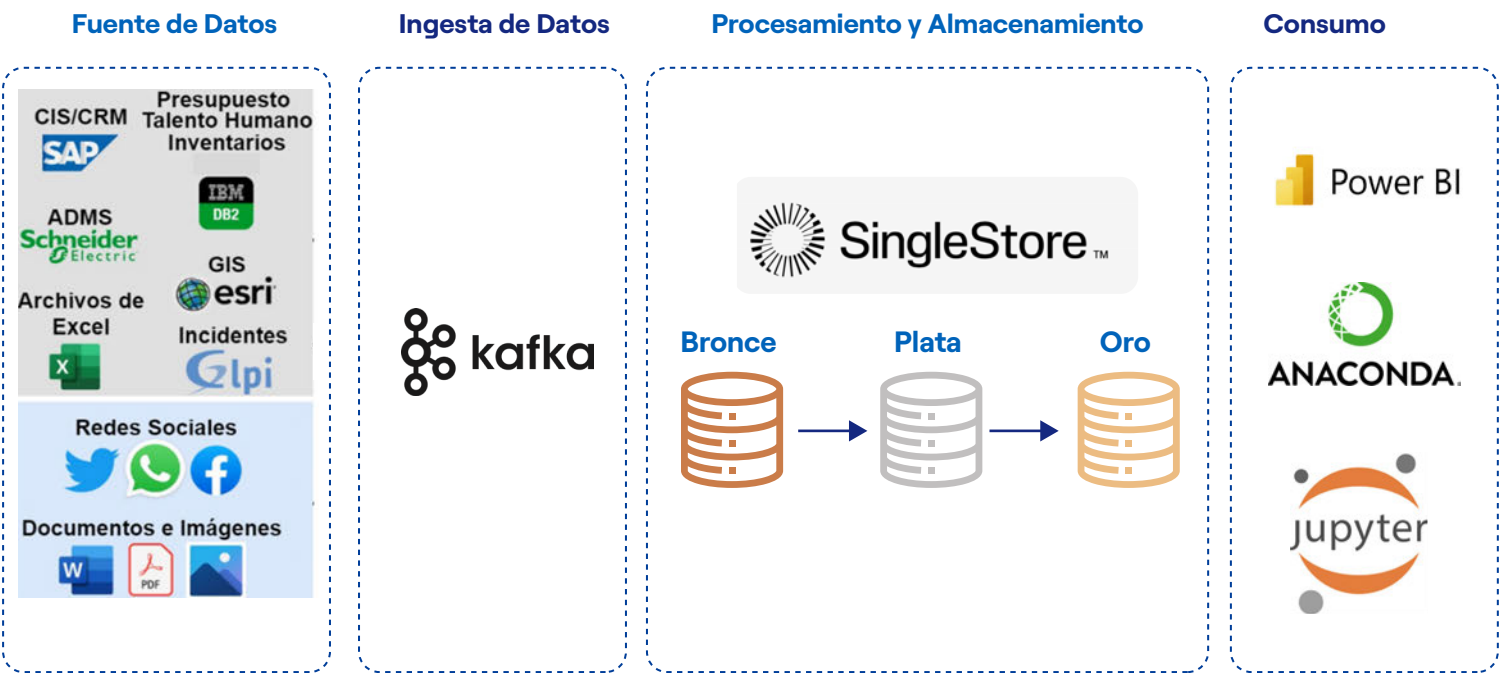


Figura Nro. 1.17: Arquitectura Medallón uso de herramientas



## 1.8 Conclusiones

- ✓ Se debe distinguir que un Data Warehouse permite recopilar datos de una amplia gama de fuentes dentro de una empresa, esta base de datos no es operativa y de actualización frecuente como las bases transaccionales y en si son utilizadas para efectos de análisis y reportes.
- ✓ Un Data Warehouse alberga Datamarts, los cuales son contenedores de datos resumidos recopilados para su análisis en una unidad específica dentro de una organización, por ejemplo: ventas, finanzas, operaciones, entre otros.
- ✓ Comprender y utilizar adecuadamente los modelos Relación-Entidad y Dimensional es crucial para maximizar la eficiencia en la gestión de datos dentro de una organización. El modelo Relación-Entidad proporciona una estructura sólida para la organización y el almacenamiento de datos detallados y transaccionales, mientras que el modelo Dimensional facilita un acceso rápido y eficaz a la información para análisis y toma de decisiones. La correcta aplicación de ambos modelos permite a las empresas mantener la integridad de sus datos mientras optimizan la capacidad de extraer insights valiosos de manera ágil, impulsando tanto la precisión operativa como el análisis estratégico.
- ✓ Implementar un enfoque Data Driven permite a las empresas tomar decisiones más informadas y basadas en evidencia, lo que reduce el riesgo de errores y aumenta la efectividad de las estrategias comerciales. Al basar las decisiones en datos concretos y análisis precisos, las empresas pueden adaptarse rápidamente a cambios del mercado y mejorar su competitividad.
- ✓ El uso de un enfoque Data Driven facilita la identificación de áreas de mejora dentro de la empresa, optimizando procesos, reduciendo costos innecesarios y mejorando la asignación de recursos. Esto no solo impulsa la eficiencia operativa, sino que también permite a la empresa centrarse en innovar y mejorar la experiencia del cliente, lo que en última instancia conduce a un crecimiento sostenible.



## 1.9 Recomendaciones



Una de las claves de la transformación de una empresa impulsada por los datos, es que estos deben ser reconocidos y valorados por todos los miembros de la empresa, para lo cual es importante realizar programas de formación continua que enseñen el uso de herramientas y la interpretación de datos, así como su aplicación diaria en el entorno laboral.

---



La adopción de la cultura Data Driven puede hacerse más natural y efectiva fomentando un ambiente colaborativo a todo nivel desde la alta dirección hasta el personal operativo, donde todas las partes sean bienvenidas a compartir sus ideas y sugerencias.

---



Se debe establecer qué se va a hacer antes de obtener los datos, definiendo una visión y objetivos claros y medibles, esto no sólo dirigirá el proceso de recopilación y análisis de datos, sino que también motivará a los equipos a reconocer la influencia significativa que tiene su trabajo en el éxito de la empresa.

---



Al existir una gran gama de herramientas para el procesamiento de datos incluido todo su ciclo de vida se debe considerar algunos aspectos como uso de herramientas gratuitas o de pago, tamaño de los datos, personal capacitado, entre otros. En este sentido se debe considerar la inclusión y capacitación de nuevos perfiles y roles dentro de la empresa, esto garantiza la eficacia en el uso de herramientas y la organización ganará un gran valor.

---



Los datos no son subjetivos, son objetivos, por cuanto una cultura basada en datos requiere un cambio cultural para priorizar el valor de estos en todos los niveles.

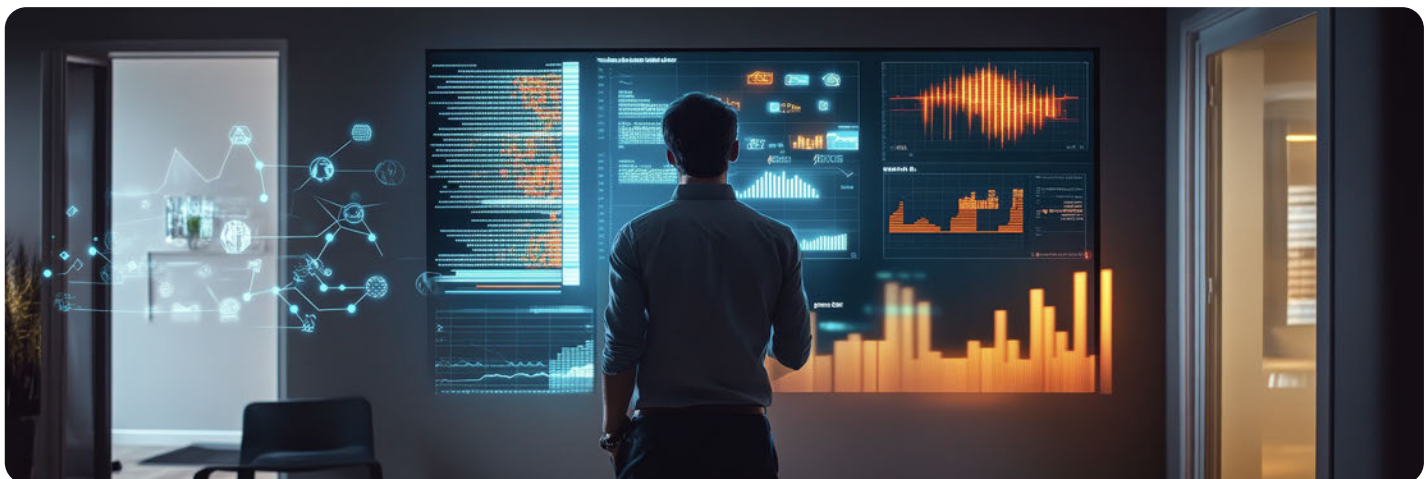
---



El enfoque basado en datos no es un proyecto con un fin, es un proceso de mejora continua, a medida que la empresa crece en madurez, es crucial reevaluar y modificar tanto las estrategias como las herramientas empleadas para garantizar el logro continuo de los objetivos y una sostenibilidad a largo plazo.

## 1.10 Referencias

- [1] Data Universe, <<<https://data-universe.org>>> [En línea]. Available: <https://data-universe.org/dama-dmbok/>. [Último acceso: 28 07 2024].
- [2] J. H. Bernstein, <<The Data-Information-Knowledge-Wisdom Hierarchy and its Antithesis, >> Kingsborough Community College, pp. 68-75, 2009.
- [3] M. H. Joe Reis, Fundamentals of Data Engineering, Gravenstein Highway: O'Reilly Media Inc, 2022.
- [4] R. Kimball and M. Ross, \*The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling\*, 3rd ed. Indianapolis, IN, USA: Wiley, 2013. doi: 10.1002/9781118732286.
- [5] R. Morrison, Data Driven Organization Design, New York: Kogan Page, 2021.
- [6] S. Huang, Y. Liu, and L. Zhang, "A Survey of Big Data Architectures and Machine Learning Algorithms in Healthcare," \*Cluster Computing\*, vol. 25, no. 2, pp. 1205-1222, Jun. 2022. doi: 10.1007/s10586-022-03568-5.
- [7] TRPlane, <<<https://www.trplane.com>>> 18 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.trplane.com/hippo-highest-paid-persons-opinion/>. [Último acceso: 18 Julio 2024].
- [8] UNIR, "Modelo Entidad Relación: Qué es, características y elementos," UNIR. [Online]. Available: <https://www.unir.net/ingenieria/revista/modelo-entidad-relacion/>. [Accessed: Aug. 10, 202].
- [9] W. H. Inmon and D. Linstedt, \*Data Architecture: A Primer for the Data Scientist\*. 2nd ed. Burlington, MA, USA: Morgan Kaufmann, 2022. doi: 10.1016/C2020-0-02450-0.
- [10] R. Elmasri and S. B. Navathe, \*Fundamentals of Database Systems\*, 5th Edition, Addison-Wesley, Reading, 2007, pp. 232-234. doi: 10.4236/ijcns.2013.612054
- [11] G. Santamaria, <<Gravitar,>> 25 septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://gravitar.biz/bi/arquitectura-medallion/>. [Último acceso: 18 Julio 2024].



Autores



Felipe Saldaña

Magister

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



Eduardo Morales

Magister

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN







# 02

CAPÍTULO

**Ecuador adopta la movilidad sostenible:** tipos, beneficios y lo que debes saber sobre vehículos eléctricos



# 02

## CAPÍTULO

# Ecuador adopta la movilidad sostenible: tipos, beneficios y lo que debes saber sobre vehículos eléctricos

**Andrés Mera**

Ingeniero Eléctrico

**Andrea Torres**

Magíster en Energías Renovables  
Agencia de Regulación y Control de  
Electricidad

## 2.1 Introducción

Los cambios tecnológicos suelen parecer, en un primer momento, imposibles de lograr, luego resultan impagables, y finalmente se convierten en algo cotidiano. Hace solo una década, pocos habrían apostado por la penetración de energías limpias que hoy forman parte esencial de nuestra matriz energética; los avances que hemos logrado para dejar atrás las centrales térmicas y el potencial que se abre con fuentes de energía renovable no convencional.

Este mismo fenómeno está ocurriendo con la electromovilidad. Hace pocos años, la idea de ver vehículos eléctricos circulando por las calles de nuestras ciudades parecía un futuro lejano, pero hoy es una realidad palpable. Los vehículos eléctricos no solo son entre cuatro y cinco veces más eficientes que sus contrapartes de combustión interna, sino que, además, los costos operativos de las flotas que realizan largos recorridos ya compiten con los de los vehículos de combustibles fósiles.

Ecuador está dando pasos significativos hacia un futuro más verde y sostenible, y una de las áreas clave en esta transformación es la movilidad. La adopción de vehículos eléctricos (VE) se está convirtiendo en una tendencia cada vez más relevante en el país, en parte impulsada por los esfuerzos del gobierno y la creciente conciencia ambiental de la población.

En 2024, la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) registra aproximadamente 4.000 vehículos eléctricos (VE) [1] circulando en el país. Este número refleja un crecimiento notable en la adopción de la electromovilidad, impulsado por el aumento en la oferta de modelos eléctricos y los beneficios económicos y ambientales asociados a su uso.

Este artículo explora los tipos de vehículos eléctricos disponibles, los beneficios que ofrecen, y lo que los consumidores deben saber al considerar la transición a la movilidad eléctrica.

## 2.2 Contexto y marco general

La movilidad en Ecuador, como en muchos países, ha sido dominada por vehículos impulsados por combustibles fósiles durante décadas. Esto ha generado problemas serios de contaminación del aire, congestión urbana y una dependencia insostenible del petróleo. Sin embargo, ante la creciente preocupación por el cambio climático y el impacto ambiental de las emisiones de carbono, Ecuador ha comenzado a explorar opciones más limpias. En los últimos años, el gobierno ha implementado varias iniciativas para fomentar la movilidad sostenible, incluyendo exenciones fiscales, incentivos municipales, además de que tanto el sector público como algunas empresas privadas están invirtiendo en la expansión de la infraestructura de estaciones de carga en el país, facilitando así el uso de vehículos eléctricos incluso en viajes de larga distancia.

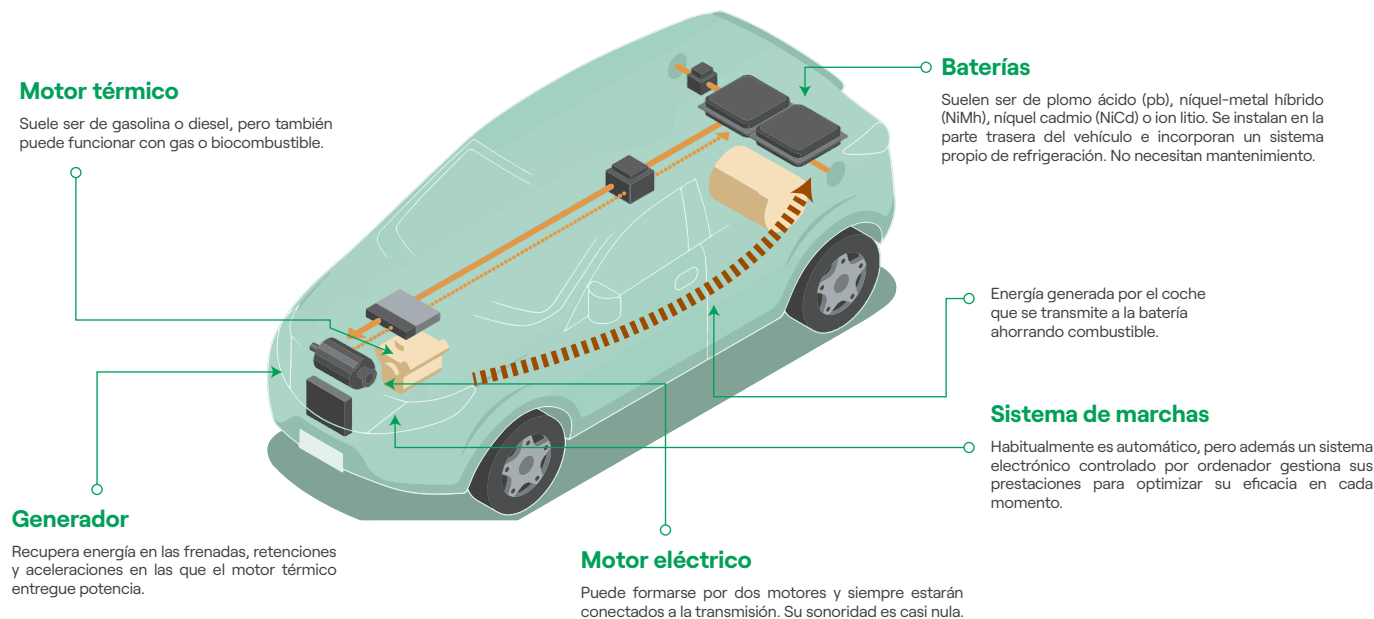
## 2.3 Tipos de Vehículos Eléctricos

### a. Híbridos (HEV):

Los vehículos híbridos combinan un motor de combustión interna con un motor eléctrico. Aunque aún dependen en parte de los combustibles fósiles, ofrecen una mejora significativa en la eficiencia del combustible y una reducción en las emisiones. Modelos como el Toyota Prius ya están disponibles en el mercado ecuatoriano.

La Figura Nro. 2.1 muestra los componentes clave del vehículo híbrido: el motor eléctrico proporciona propulsión silenciosa y eficiente, mientras que el motor de combustión interna ofrece potencia adicional cuando es necesario. La batería de alta capacidad almacena la energía eléctrica, y la unidad de control híbrido gestiona la interacción entre ambos motores. El generador de energía recarga la batería durante la conducción, y el sistema de recuperación de energía de frenado convierte la energía del frenado en electricidad adicional.

**Figura Nro. 2.1:** Componentes y funcionamiento de un vehículo híbrido [2]

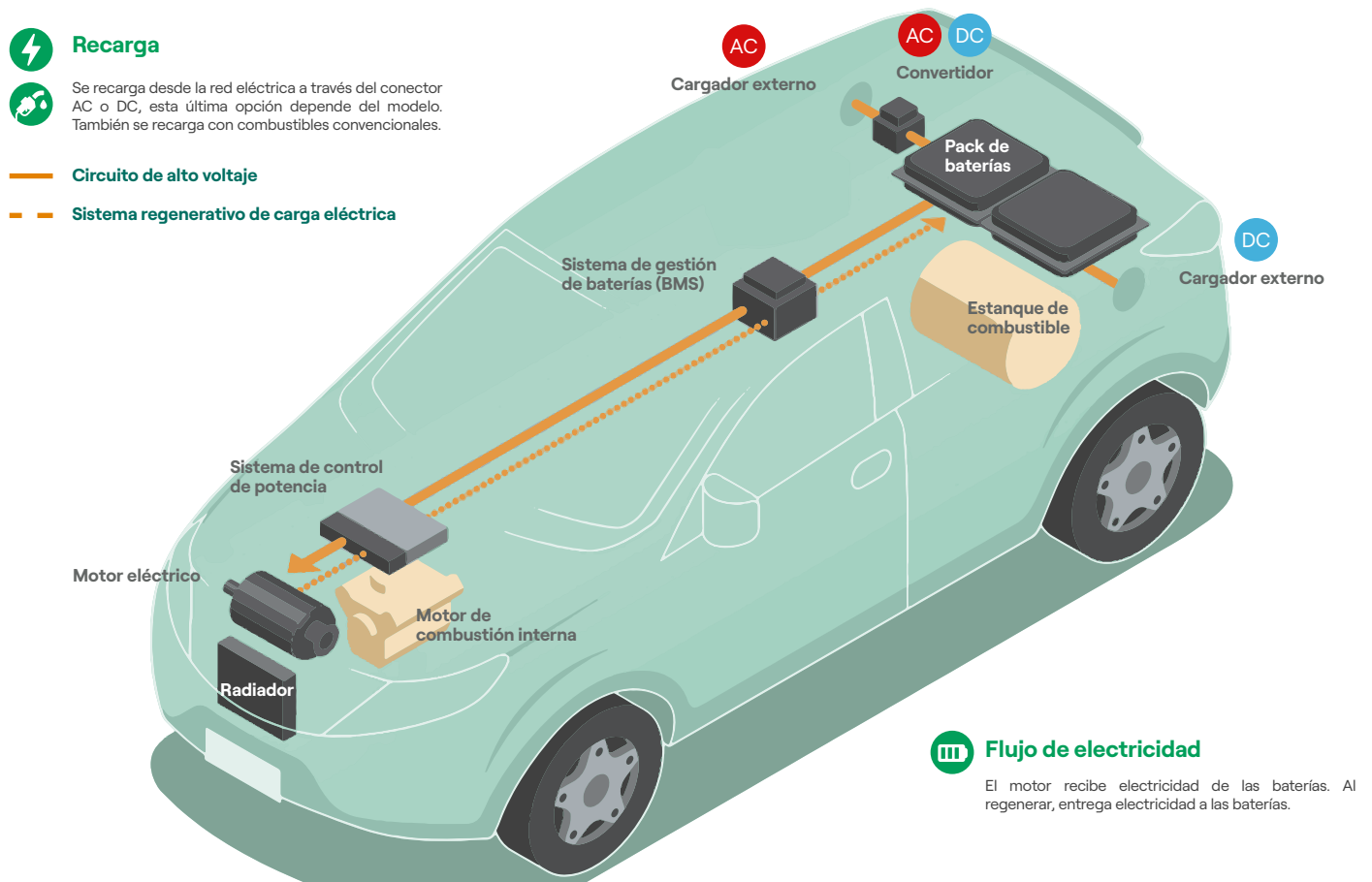


## b. Híbridos Enchufables (PHEV):

Similar a los híbridos, los PHEV pueden recargarse enchufándolos a la red eléctrica, lo que les permite funcionar exclusivamente con electricidad durante trayectos cortos. Esto los hace una opción intermedia entre los vehículos convencionales y los totalmente eléctricos.

En la Figura Nro. 2.2 se muestra el diagrama donde se destaca los componentes esenciales: el motor eléctrico brinda propulsión eléctrica con autonomía extendida mediante carga externa, mientras que el motor de combustión interna actúa como respaldo y extiende el rango total. La batería de alta capacidad se recarga tanto a través de una fuente externa como del motor de combustión. La unidad de control híbrido optimiza la eficiencia entre ambos motores, y el sistema de recuperación de energía convierte la energía de frenado en electricidad adicional.

**Figura Nro. 2.2:** Arquitectura y flujo energético de un vehículo híbrido enchufable [3]



## c. Eléctricos de Batería (BEV):

Estos vehículos funcionan únicamente con electricidad, utilizando grandes baterías recargables. Son los más limpios en términos de emisiones, ya que no producen gases de escape.

En la Figura Nro. 2.3 se muestra los componentes clave: el motor eléctrico es el único medio de propulsión, ofreciendo una conducción completamente eléctrica. La batería de alta capacidad almacena toda la energía necesaria y se recarga exclusivamente a través de fuentes eléctricas externas. La unidad de control del motor gestiona la entrega de potencia y eficiencia, mientras que el sistema de recuperación de energía de frenado convierte la energía cinética durante el frenado en electricidad para prolongar el alcance.

**Figura Nro. 2.3: Arquitectura y flujo energético de un vehículo eléctrico de batería [3]**

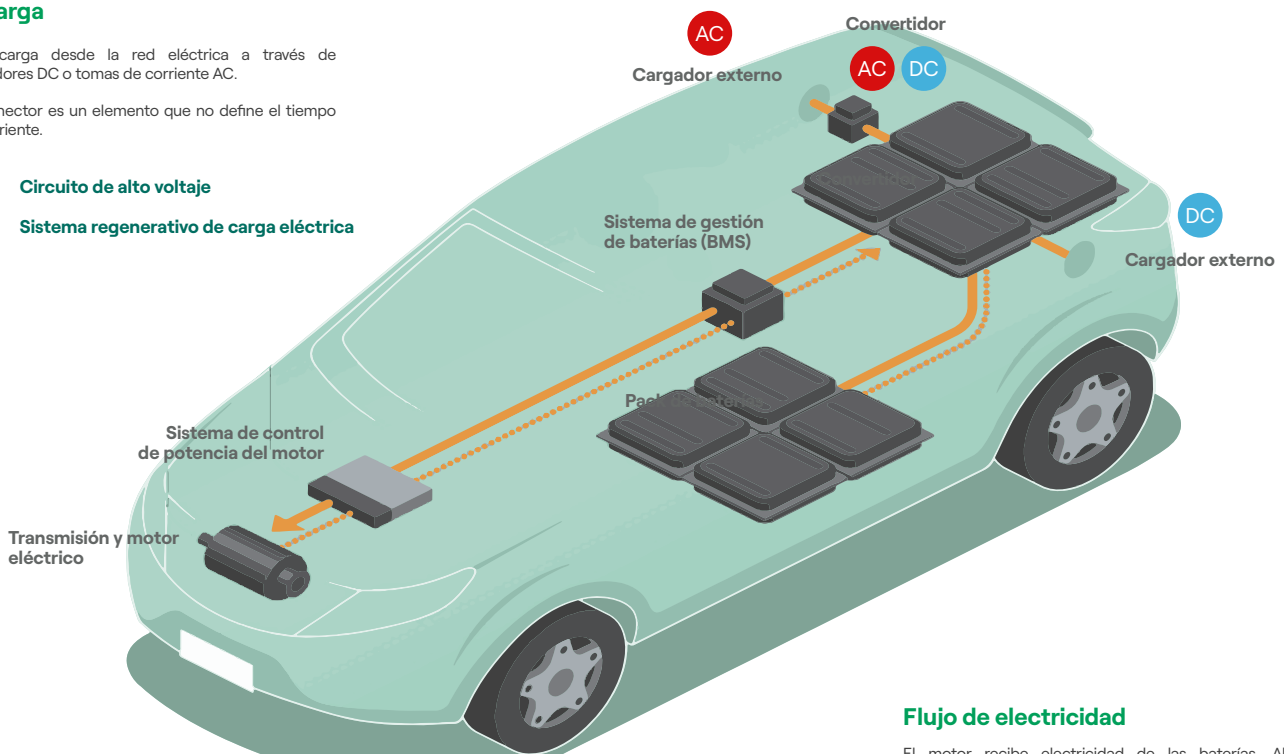
### Recarga

Se recarga desde la red eléctrica a través de cargadores DC o tomas de corriente AC.

\*El conector es un elemento que no define el tiempo de corriente.

— Circuito de alto voltaje

- - Sistema regenerativo de carga eléctrica



### Flujo de electricidad

El motor recibe electricidad de las baterías. Al regenerar, entrega electricidad a las baterías.

## d. Eléctricos de Celda de Combustible (FCEV):

Aunque todavía en una etapa temprana de desarrollo, los FCEV utilizan hidrógeno para generar electricidad y pueden ser una opción viable en el futuro, especialmente si se desarrollan infraestructuras adecuadas en Ecuador.

La Figura Nro. 2.4 ilustra los componentes clave: la celda de combustible genera electricidad mediante la reacción de hidrógeno con oxígeno, brindando propulsión eléctrica. La batería almacena energía adicional para momentos de alta demanda. El motor eléctrico impulsa el vehículo, mientras que el tanque de hidrógeno almacena el combustible necesario. La unidad de control gestiona el flujo de energía entre la celda de combustible, la batería y el motor.

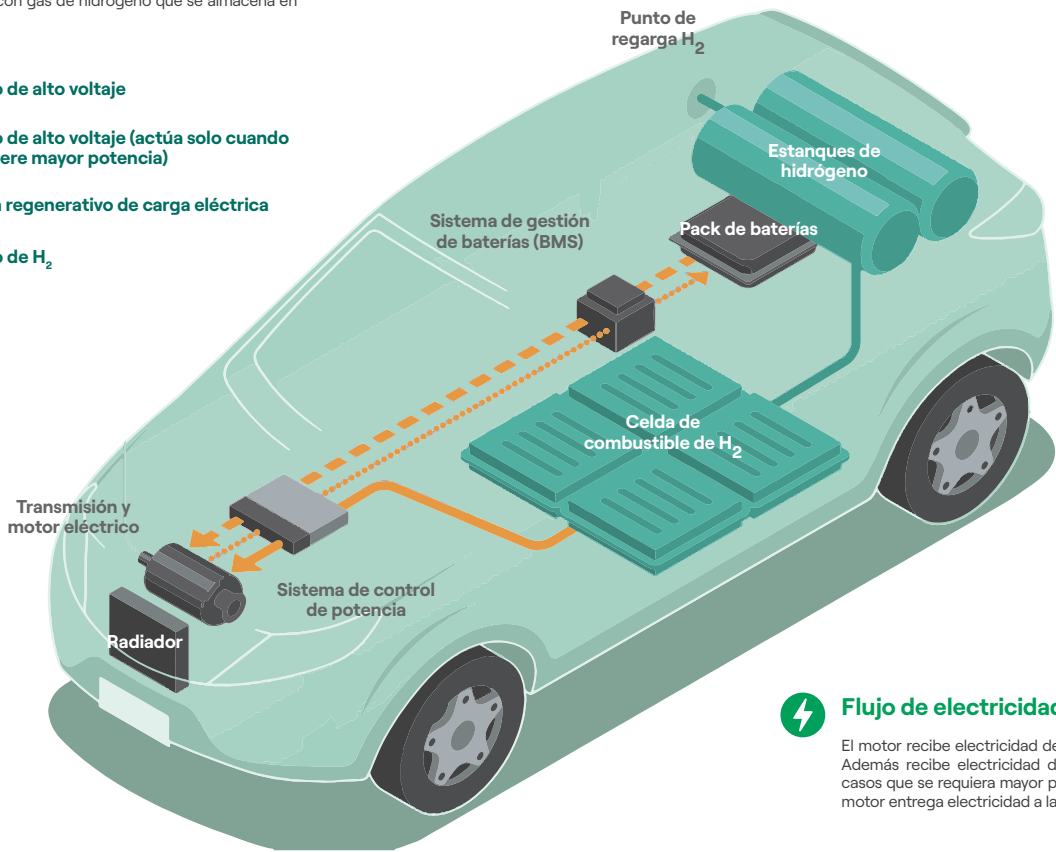
Figura Nro. 2.4: Arquitectura y flujo energético de un vehículo eléctrico de celda de combustible

H<sub>2</sub>

Recarga

Se recarga con gas de hidrógeno que se almacena en estanques.

- Circuito de alto voltaje
- - - Circuito de alto voltaje (actúa solo cuando se requiere mayor potencia)
- ... Sistema regenerativo de carga eléctrica
- Circuito de H<sub>2</sub>



Flujo de electricidad

El motor recibe electricidad del pack de celdas de H<sub>2</sub>. Además recibe electricidad del pack de baterías en casos que se requiera mayor potencia. Al regenerar, el motor entrega electricidad a las baterías.

## 2.4 Beneficios de la movilidad eléctrica



**Ambientales:** Uno de los beneficios más destacados de los vehículos eléctricos es la reducción significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Al no depender de combustibles fósiles, estos vehículos ayudan a mejorar la calidad del aire en las ciudades, lo que tiene un impacto positivo en la salud pública y en la mitigación del cambio climático.



**Económicos:** Aunque los vehículos eléctricos pueden tener un costo inicial más alto, ofrecen ahorros a largo plazo gracias a menores costos operativos.



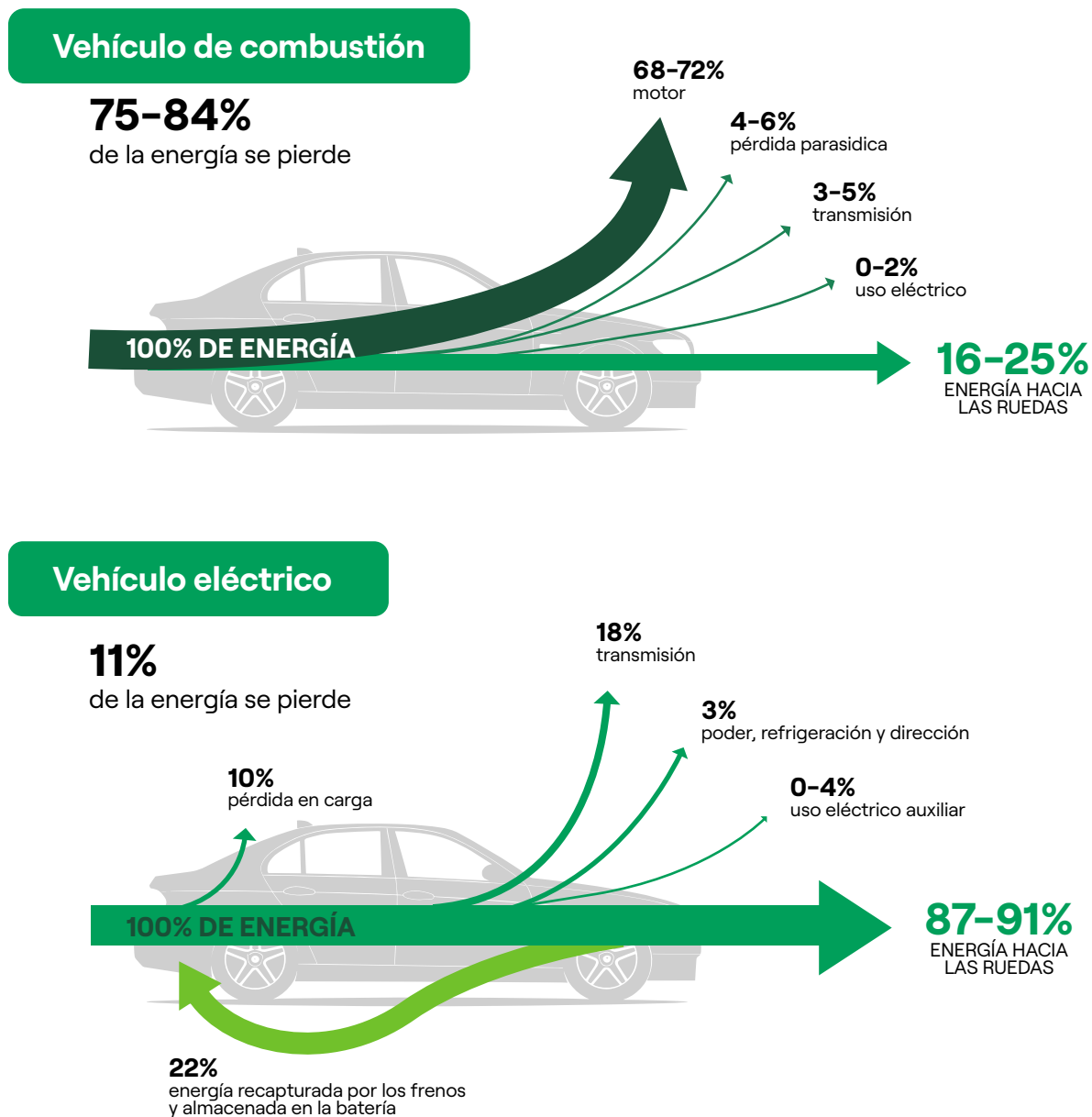
**Sociales:** La movilidad eléctrica también contribuye a una mejor calidad de vida en las ciudades al reducir la contaminación acústica y promover un ambiente urbano más limpio y moderno.





**Tecnológicos:** La adopción de vehículos eléctricos impulsa la innovación en el sector automotriz y fomenta la integración con energías renovables, como la solar y la eólica. En la Figura Nro. 2.5 se muestra que los vehículos de combustión interna presentan una significativa pérdida de energía en forma de calor durante la quema de combustible y la fricción interna del motor, resultando en una eficiencia global más baja. En contraste, los vehículos eléctricos presentan una pérdida mínima de energía, principalmente en el sistema de transmisión y la resistencia eléctrica de los componentes. Esta mayor eficiencia en los vehículos eléctricos se traduce en un uso más efectivo de la energía disponible y una reducción de las emisiones.

**Figura Nro. 2.5: Pérdida de energía Combustión vs. Eléctrico [4]**



## 2.5 Retos y oportunidades

### Retos

#### Infraestructura de Carga:

La cobertura de estaciones de carga es limitada, especialmente en zonas rurales y corredores viales. Se requiere una expansión significativa para garantizar la accesibilidad en todo el país.

#### Costo de los Vehículos:

A pesar de los incentivos, el precio de los vehículos eléctricos sigue siendo alto para muchos consumidores ecuatorianos. Las opciones de financiamiento accesibles y subsidios adicionales son necesarios para reducir esta barrera.

#### Educación y Concientización:

Existe una necesidad urgente de educación para consumidores y técnicos sobre los beneficios y mantenimiento de los vehículos eléctricos. Sin una adecuada formación, la transición hacia la movilidad eléctrica podría verse obstaculizada.

#### Políticas Públicas:

La falta de un marco regulatorio claro y políticas públicas insuficientes pueden limitar el crecimiento del sector. Es esencial desarrollar una legislación favorable y establecer incentivos fiscales coherentes para apoyar la adopción de vehículos eléctricos.

### Oportunidades

#### Innovación en Infraestructura:

Se pueden explorar soluciones innovadoras como estaciones de carga móviles o sistemas de carga en colaboración con empresas privadas para expandir rápidamente la cobertura, incluso en áreas remotas.

#### Modelos de Financiamiento y Subsidios:

El desarrollo de nuevas estrategias de financiamiento, como leasing o pagos por uso, y la implementación de subsidios adicionales, pueden hacer que los vehículos eléctricos sean más accesibles y atractivos para los consumidores.

#### Desarrollo de Programas Educativos:

Establecer alianzas con instituciones educativas y empresas para crear programas de formación especializados en vehículos eléctricos puede generar una mano de obra capacitada y aumentar la aceptación de la tecnología.

#### Liderazgo en Políticas de Movilidad:

El gobierno puede aprovechar la oportunidad para liderar la transición hacia una movilidad sostenible mediante la implementación de políticas pioneras, incentivos fiscales específicos, y la integración de vehículos eléctricos en las flotas gubernamentales, lo que puede servir como ejemplo para el sector privado y otros países.

## 2.6 Lo que debes saber al comprar un vehículo eléctrico en Ecuador

La decisión de comprar un vehículo eléctrico (VE) en Ecuador es un paso importante hacia una movilidad más sostenible, pero también implica considerar varios factores clave que pueden influir en la experiencia y en la inversión a largo plazo. Aquí se proporciona una ampliación del tema para ayudar a tomar una decisión informada:

### 2.6.1 Beneficios económicos en el Ecuador

---

En Ecuador existen incentivos como la exoneración del IVA y el Impuesto Verde hacen que el costo total de propiedad de un vehículo eléctrico sea más competitivo frente a los vehículos convencionales. Además, algunos bancos ofrecen créditos verdes con tasas preferenciales, lo que puede reducir aún más el costo financiero de adquirir un VE.

Existen otros beneficios como la exención de medidas restrictivas como el pico y placa en Quito y la gratuidad en estacionamientos públicos tarifados.

Si la carga del vehículo se realiza en el hogar, puede aprovecharse un beneficio poco conocido ofrecido por las empresas eléctricas: un medidor especial que excluye los cargos o aportes a terceros en la factura de electricidad.

### 2.6.2 Autonomía del vehículo

---

La autonomía es uno de los aspectos más críticos al considerar un vehículo eléctrico. Dependiendo del modelo, los VE pueden ofrecer una autonomía que varía entre 150 y 500 kilómetros por carga. Es importante evaluar las necesidades diarias de transporte y viajes más largos. En Ecuador, donde las distancias entre ciudades principales no son excesivamente largas, un vehículo con una autonomía media puede ser suficiente para la mayoría de los conductores. Sin embargo, si se requieren hacer viajes frecuentes a zonas rurales o de difícil acceso, un vehículo con mayor autonomía sería más adecuado.

### 2.6.3 Tiempo de carga

---

El tiempo de carga es otro factor esencial. Existen diferentes niveles de carga, desde cargadores domésticos que pueden tardar varias horas en cargar completamente un vehículo, hasta estaciones de carga rápida que pueden hacer el trabajo en menos de una hora.

## 2.6.4 Infraestructura de carga

---

Aunque la infraestructura de carga en Ecuador está en expansión, aún es un factor a tener en cuenta. Es fundamental conocer la ubicación de las estaciones de carga cercanas al hogar, lugar de trabajo y las rutas frecuentes. También es recomendable descargar aplicaciones que permitan localizar estaciones de carga disponibles y reservarlas si es necesario. A medida que se amplíe la red, la accesibilidad será más cómoda, pero por ahora, planificar las cargas será parte de la rutina.

## 2.6.5 Costos de mantenimiento y operativos

---

Los vehículos eléctricos generalmente tienen menores costos de mantenimiento en comparación con los vehículos de combustión interna. Esto se debe a que tienen menos partes móviles y no requieren cambios de aceite o mantenimiento del motor en la misma medida. Sin embargo, se debe considerar el costo de reemplazo de la batería, que puede ser significativo, aunque las garantías suelen cubrir varios años. Además, el costo operativo, en términos de electricidad, es notablemente menor que el costo del combustible fósil, lo que representa un ahorro considerable a largo plazo.

## 2.6.6 Modelos disponibles y comparación

---

Es importante investigar y comparar los diferentes modelos disponibles en el mercado ecuatoriano. Marcas como Nissan, Kia y BYD ofrecen modelos con diversas características y precios. Al comparar, se debe prestar atención a factores como la autonomía, la tecnología de carga, el confort y las características adicionales que puedan influir en la decisión de compra.





## 2.7 Conclusiones



La adopción de vehículos eléctricos en Ecuador está en un proceso de crecimiento, impulsado por avances tecnológicos, incentivos gubernamentales, como la exoneración del IVA y el Impuesto Verde, y una mayor conciencia ambiental. Los vehículos eléctricos no solo ofrecen ventajas ambientales significativas al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que también presentan beneficios económicos a largo plazo, como menores costos operativos y de mantenimiento. Sin embargo, para maximizar estos beneficios, es esencial considerar varios factores, incluyendo la autonomía del vehículo, el tiempo de carga y la infraestructura de carga disponible.



El contexto ecuatoriano ofrece tanto retos como oportunidades en la transición hacia la movilidad eléctrica. A pesar de los desafíos en infraestructura y costos, las innovaciones en tecnología de carga y políticas públicas, como la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, están sentando las bases para una adopción más amplia. Al estar bien informado sobre los diferentes tipos de vehículos eléctricos y los incentivos disponibles, los consumidores pueden tomar decisiones más acertadas y contribuir a un futuro más sostenible.



La transición hacia una movilidad eléctrica no solo refleja un cambio hacia tecnologías más limpias, sino que también resalta un compromiso con un desarrollo urbano más verde y eficiente. Con la expansión continua de la infraestructura y el apoyo gubernamental, la movilidad eléctrica estará bien posicionada para convertirse en una parte integral del panorama de transporte del país.





## 2.8 Bibliografía

A. d. E. A. d. Ecuador, «Sector Automotor en Cifras,» [En línea]. Available: <https://www.aeade.net/boletin-sector-automotor-en-cifras/>.

P. Jiménez, «MULTIAUTOS OURENSE,» [En línea]. Available: <https://multiautosourense.com/2017/06/29/infografia-de-como-functiona-un-coche-hibrido/>. [Último acceso: Agosto 2024].

Ministerio de Energía Chile, «Plataforma de Electromovilidad,» [En línea]. Available: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/infografias>. [Último acceso: Agosto 2024].

ENERLINK. [En línea]. Available: <https://blog.enerlink.com/como-tomar-decisiones-y-elegir-entre-carros-electricos-y-tradicionales>.

## Autores



**Andrés Mera**

Ingeniero Eléctrica

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



**Andrea Torres**

Magíster en Energías  
Renovables

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN





# 03

CAPÍTULO

**Eficiencia en los paneles solares,  
su impacto en el costo de  
producción de la energía**

# 03

## CAPÍTULO

# Eficiencia en los paneles solares, su impacto en el costo de producción de la energía

**Gabriel Casares Molina**  
Arquitecto, MBA

**Emilio Calle García**  
Ingeniero Eléctrico, MBA

## 3.1 Introducción

La situación eléctrica del país tiene un contexto marcado por una combinación de factores que han puesto a prueba la estabilidad y la resiliencia del sistema energético. A lo largo del 2024, el Ecuador ha enfrentado un déficit de energía eléctrica más significativo de las últimas décadas y que ha afectado a gran parte del territorio nacional.

El Ecuador depende en gran medida de hidroelectricidad, históricamente ha representado entre el 60% y el 70% de la electricidad consumida en el país. Sin embargo, en 2024, la crisis climática global, ha provocado una disminución en los caudales de los ríos que alimentan las principales centrales; esta sequía ha llevado a una reducción en la capacidad de generación, causando un déficit en la oferta de energía eléctrica.

La situación descrita ha ocasionado una crisis eléctrica que se ha agravado por la falta de alternativas que permitan suplir la reducción de generación hidroeléctrica. El país ha experimentado interrupciones frecuentes y programadas del servicio eléctrico y que han afectado a zonas urbanas y rurales. Estos han impactado gravemente en la economía nacional, con pérdidas económicas importantes en sectores como la industria, el comercio y el turismo.

En particular, durante los meses de abril y mayo de 2024, el país sufrió racionamientos masivos que afectaron a más del 70% del territorio. Estos se debieron a la imposibilidad de cubrir la demanda eléctrica con la capacidad de generación disponible, y que además las plantas termoeléctricas no lograron compensar la demanda de generación hidroeléctrica debido a la falta de mantenimiento y la escasez de combustibles.

La capacidad de generación instalada del sistema eléctrico ecuatoriano es de 8.962,73 MW; las centrales de generación hidroeléctrica cuentan con 5.159,81 MW efectivos; durante los períodos de sequía severa, la capacidad de las hidroeléctricas se ha reducido a menos de la mitad.

Por su parte, la demanda de electricidad en abril de 2024 alcanzó 5.063,17 MW, esto ha ocasionado que la capacidad de generación disponible sea insuficiente para cubrir la necesidad energética del país.

Esta crisis eléctrica ha tenido un impacto en la vida de los ecuatorianos. Los racionamientos han limitado actividades esenciales como el suministro de agua potable, el funcionamiento de hospitales y la operación de sistemas de transporte público; estas tensiones sociales han generado varias protestas que han exigido soluciones rápidas y efectivas del abastecimiento de energía.

En este contexto, el presente artículo analiza como la eficiencia de las celdas fotovoltaicas influyen en el costo de la energía, considerando que el horizonte de implementación es relativamente corto y que además se requiere análisis exhaustivos para garantizar la viabilidad técnica y económica de este tipo de proyectos.

### 3.2 Eficiencia en los sistemas fotovoltaicos y su impacto en el costo nivelado de energía (LCOE)

La eficiencia es fundamental en la producción de energía solar, permite medir el porcentaje de la energía solar incidente que se convierte en electricidad. Los avances en materiales semiconductores, como el silicio cristalino y los perovskitas, han permitido mejoras continuas en la eficiencia de conversión, lo que a su vez incrementa la cantidad de electricidad generada por unidad de superficie.

Un aspecto relevante es la relación entre la eficiencia de los paneles y el Costo Nivelado de Energía (LCOE, por sus siglas en inglés), un indicador clave para evaluar la viabilidad económica de un proyecto de energía. El LCOE representa el costo total de construir y operar un sistema de energía dividido por la cantidad total de energía generada durante su vida útil [1].

$$LCOE = \frac{Inv_o + \sum_{i=1}^n \frac{C_{fijos} + C_{variables}}{(1+i)^n}}{\sum_{i=1}^n \frac{Energía}{(1+i)^n}}$$

A medida que aumenta la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, el LCOE disminuye, ya que se puede generar más energía con menos paneles, reduciendo los costos de instalación, mantenimiento y espacio requerido [2]. Esto hace que la energía solar sea más competitiva frente a otras fuentes.

Además, la eficiencia tiene implicaciones directas en el diseño y la implementación de proyectos solares. Por ejemplo, en áreas con espacio limitado, como los entornos urbanos o los techos de edificios, la instalación de paneles más eficientes permite maximizar la producción de energía sin necesidad de expandir la superficie disponible.

### 3.3 Producción de energía del sistema fotovoltaico

La determinación de la producción de energía de un proyecto fotovoltaico requiere una serie de criterios para estimar la cantidad de electricidad que el sistema generará bajo condiciones propias. A continuación, se describe los principales criterios a considerar:



### 3.3.1 Producción de energía del sistema fotovoltaico



**Irradiancia solar:** La obtención de los datos de irradiancia promedio en la ubicación del proyecto es fundamental, estos datos se obtienen a partir de estaciones meteorológicas, bases de datos satelitales o mapas solares, en este orden de importancia y precisión. Fuentes como el Atlas Solar Global del Banco Mundial y datos de la NASA, Surface Meteorology and Solar Energy proporcionan información clave.



**Ubicación:** Los datos de latitud, altitud y condiciones climáticas locales, determinan la cantidad de luz solar disponible y la afectación que podría ocasionar estas en la producción de energía a lo largo del año. La altitud puede mejorar la eficiencia debido a la menor presencia de nubes y mayor intensidad de radiación solar.

### 3.3.2 Selección y caracterización de los paneles fotovoltaicos



**Tipo de paneles:** Seleccionar la tecnología de los paneles a utilizar en función de su eficiencia, costo y características (monocristalinos, policristalinos, o de capa fina), permite asegurar la máxima producción de energía ante condiciones específicas de radiación solar.



**Eficiencia de los paneles:** Permite aprovechar la capacidad de convertir la luz solar en energía y por tanto producir más electricidad. En la actualidad la eficiencia de los paneles fotovoltaicos se encuentra entre el 15% y el 24%; sin embargo, paneles de alta eficiencia (Tabla Nro. 3.1), ofrecen valores de hasta el 25,2%, esto representa un beneficio en proyectos con limitaciones de espacio.



**Degradación del panel:** La mayoría de los paneles ofrecen degradación lineal de entre 0,45% y 0,50% por año; así también, tecnología de alto rendimiento ofrece degradación menor o igual al 0,35% por año, esto representa una mejora importantísima en la producción ya que su rendimiento disminuye a lo largo de su vida útil si se considera además que actualmente las pruebas de rendimiento se realizan ya a 30 años, es decir 5 años más que tecnologías antiguas.

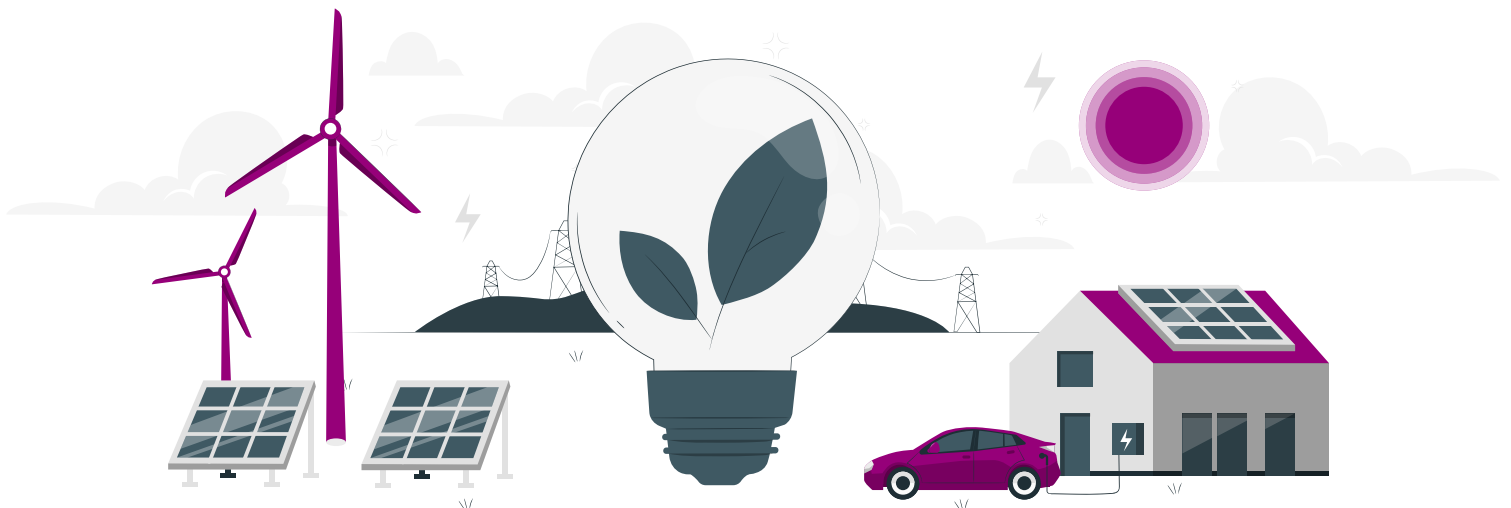


Tabla Nro. 3.1: Ranking mundial de eficiencia de los módulos fotovoltaicos a mayo 2024

	Modelo	No. Celdas	Tipo de Módulo	Potencia [W]	Eficiencia [%]
1	AIKO-A-MDE72Mw	144	Half-cell, Back Contact	680	24,2 [25,2] <sup>1</sup>
2	SPR MAX7 445 PT	112	Back Contact	445	24,1
3	LRS-72HTH-590-600M	144	Half-cell, Back Contact	600	23,2
4	HS-210-B132DS715W	132	Bifacial, Half-cell MBB	715	23,02
5	TWMHF66-0030 715W	132	Bifocal, Half cell MBB	715	23,0
6	CHSM72N(DG)/F-BH570-590W	144	Bifacial. Half-cell MBB	590	22,8
6	TWMND 72H5570 590W	144	Half cell, MBB	590	22,0
6	SPICNS(LOP)-60/H10W	120	Bifacial, BackContact, Half-cell, MBB	410	22,8
9	KM570-585N-12HL4-BOV	144	TOPCon facial, Half-cell MBB	585	22,65
10	OMSESM101-72-SW-V	144	Half-cell, Mau	505	22,6

<sup>1</sup>Nueva eficiencia alcanzada al mes de agosto de 2024.

### 3.3.3 Diseño del sistema



**Orientación e inclinación:** Se refiere a la orientación (azimut) y la inclinación óptima de los paneles para maximizar la captación solar. En el hemisferio sur, los paneles se orientan al norte con inclinación que varía de acuerdo con su latitud. En zonas como la región litoral la inclinación ideal está en 2° a 3°, esto maximiza la captación solar durante todo el año.



**Configuración del sistema:** Definir la disposición de los paneles, incluyendo la separación entre filas para evitar sombras y la cantidad de módulos es necesario, pero además se deberá considerar la dirección del viento.

### 3.3.4 Cálculo de pérdidas del sistema



**Pérdidas eléctricas:** Como parte del modelo de análisis se requiere estimar las pérdidas en el sistema debidas a factores como resistencia eléctrica, conversión en el inversor y las distancias del cableado.



**Pérdidas por sombras:** En zonas urbanas, la sombra de edificios puede reducir la producción, por lo tanto, es necesario analizar e incluir las pérdidas debido a sombras parciales, acumulación de suciedad, nieve, polvo y otros objetos como hojas de árboles, vegetación, etc.

**Pérdidas por temperatura:** La eficiencia de los paneles disminuye con la temperatura, las pérdidas que causan las altas temperaturas afectan el rendimiento; los paneles que tienen coeficientes de temperatura más bajos son más adecuados para climas cálidos.

### 3.3.5 Proyección de sombras, análisis morfológicos, topográficos, soleamiento y geométrico

El análisis de sombras y el recorrido del sol son fundamentales en el diseño de la planta solar, ya que determinan la eficiencia y viabilidad del proyecto debido a las siguientes razones:



**Maximización de la Captación Solar:** El recorrido del sol varía a lo largo del día y del año, influenciado por la latitud y las estaciones; este análisis permite orientar y posicionar los paneles de manera óptima para capturar la mayor cantidad de radiación solar posible. Esto asegura un rendimiento máximo de la planta garantizando los óptimos niveles de producción [3] [2].



**Minimización de las Sombras:** La disminución de captación solar por obstrucción de árboles, edificios u otras estructuras, afecta significativamente la producción de energía. Incluso pequeñas áreas sombreadas en un panel pueden reducir su eficiencia drásticamente. La ejecución del análisis de sombras durante el diseño evita dichas obstrucciones o permite corregir el diseño de la planta de tal manera que minimice su impacto, optimizando así la generación de energía.



**Optimización del Espacio y Diseño:** Analizar el recorrido del sol y de las sombras permite una mejor planificación del espacio disponible; ayuda en la decisión para la disposición, la inclinación y la separación entre paneles; además, facilita la determinación de la necesidad de estructuras adicionales para evitar sombras no deseadas. Este estudio es crucial especialmente cuando se dispone de espacios limitados.

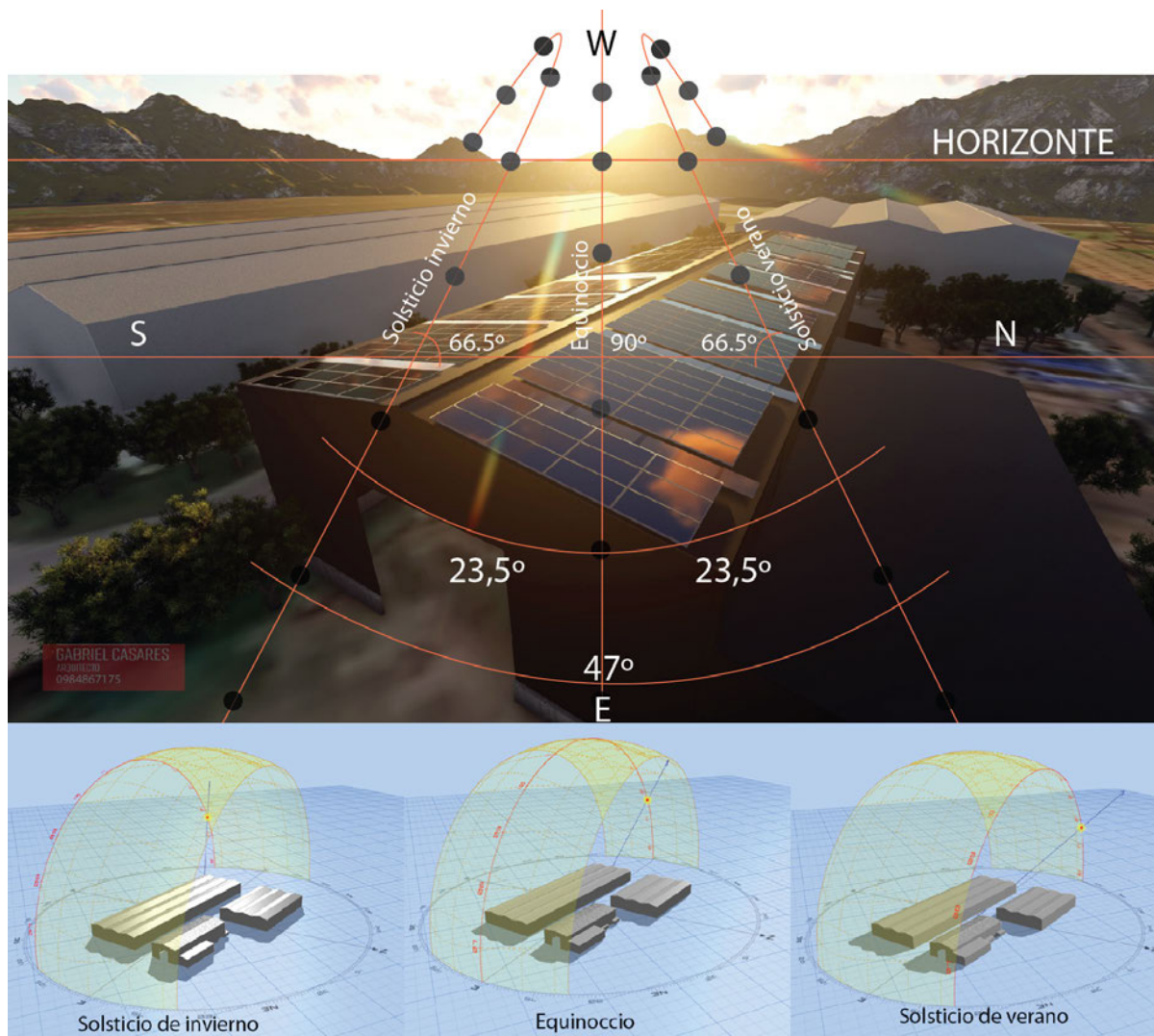
Durante el proceso de diseño, es fundamental contar con un levantamiento arquitectónico y topográfico detallado de la zona. Usando herramientas 3D se analiza con precisión el recorrido del sol y las sombras proyectadas por objetos en el entorno, esto ayuda la planificación y la eficiencia del proyecto.

**Figura Nro. 3.1:** Optimización del diseño con herramientas 3D



En el Ecuador, la ubicación geográfica cercana a la latitud cero representa una ventaja adicional en comparación con países de latitudes más alejadas. Esta posición hace un lugar ideal para la instalación de plantas solares, debido a la radiación constante durante todo el año. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta otros factores como la variación de los ángulos solares entre los solsticios de invierno, verano y los equinoccios (Figura Nro. 3.2). Además, es necesario analizar la topografía y considerar elementos que proyecten sombras, especialmente en el caso de granjas solares ya que pueden afectar la producción de energía.

**Figura Nro. 3.2:** Modelación del recorrido solar<sup>2</sup>



**<sup>2</sup>Equinoccio:** Momento del año en que el día y la noche tienen igual duración, marcando el inicio de la primavera o el otoño, el sol tiene una incidencia perpendicular ( $90^\circ$ ) sobre el territorio ecuatoriano.

**Solsticio:** Momento del año en que el sol alcanza su mayor o menor altura en el cielo, marcando el inicio del verano o invierno. En este caso el sol puede llegar a bajar su ángulo de incidencia hasta  $66,5^\circ$  sobre el territorio ecuatoriano.

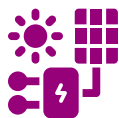
**Trópico de Cáncer:** Línea imaginaria en el hemisferio norte a  $23,5^\circ$  de latitud, donde el sol está directamente sobre la vertical durante el solsticio de verano.



En el Ecuador, los ángulos de incidencia solar varían notablemente a lo largo del año. Durante los equinoccios de marzo y septiembre, el sol está directamente sobre el Ecuador, lo que provoca que los rayos incidan a 90° respecto a la superficie terrestre. En el solsticio de verano, en junio, el sol se desplaza 23,5° hacia el norte, en dirección al Trópico de Cáncer, esto resulta en un ángulo de incidencia de 66,5° en el Ecuador. Finalmente, durante el solsticio de invierno en diciembre, el sol se desplaza 23,5° hacia el sur, hacia el Trópico de Capricornio, manteniendo el ángulo de incidencia de 66,5° hacia el sur.

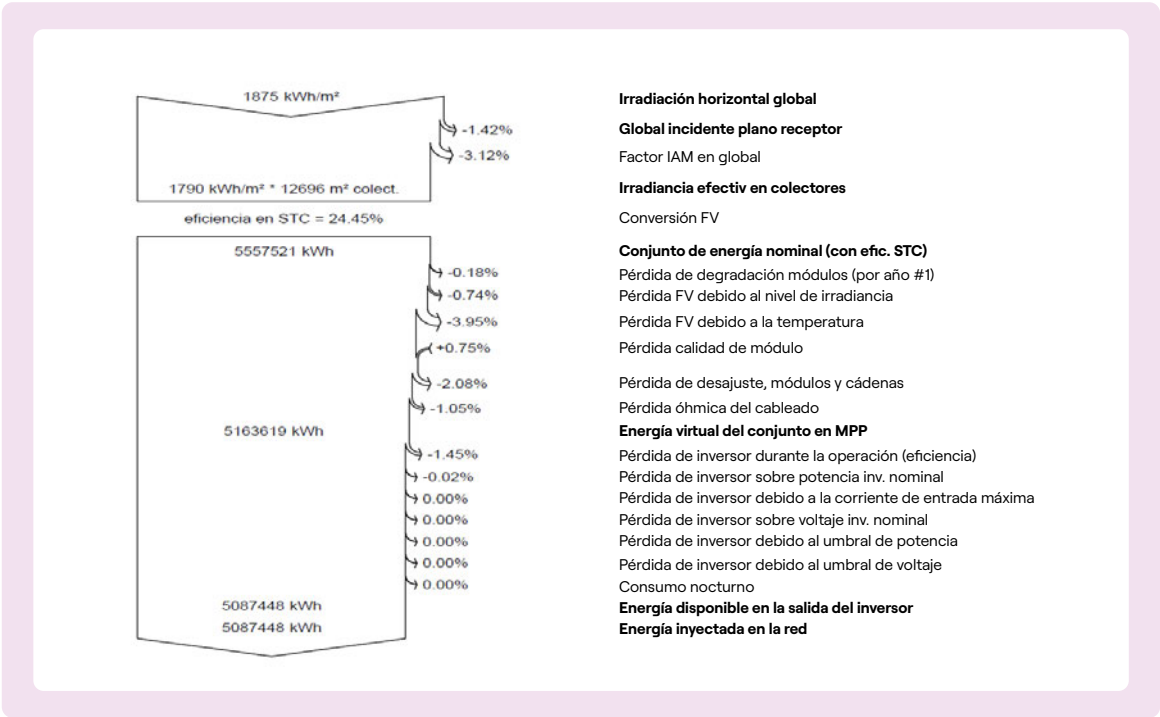
La diferencia de ángulos entre el equinoccio y cada uno de los solsticios es de 23,5°. Entre el solsticio de verano y el solsticio de invierno, aunque el Sol se desplaza en direcciones opuestas (norte y sur), la variación en el ángulo de incidencia respecto al equinoccio es la misma, con una diferencia total de 47 grados entre ambos solsticios, esta información y análisis es de mucha utilidad, pues al momento de implantar los paneles nos permite encontrar la ubicación más eficaz para captar la radiación del sol la mayor parte del día y del año. (Figura Nro. 3.3)

### 3.3.6 Estimación de la producción de energía



**Modelo de producción:** Es una herramienta indispensable para el diseño y la planificación de proyectos fotovoltaicos, los resultados obtenidos proporcionan la base para evaluar la viabilidad técnica y económica; en el mercado, existen herramientas como: PVSyst, SAM (System Advisor Model) y HOMER Energy, estos ejecutan simulaciones detalladas, su precisión permite determinar la producción de energía con más exactitud. Estas herramientas toman en cuenta los datos meteorológicos y técnicos para calcular la energía generada en cada hora del día durante su vida útil.

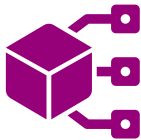
Figura Nro. 3.3: Diagrama de producción del sistema fotovoltaico (Reporte PVSyst)





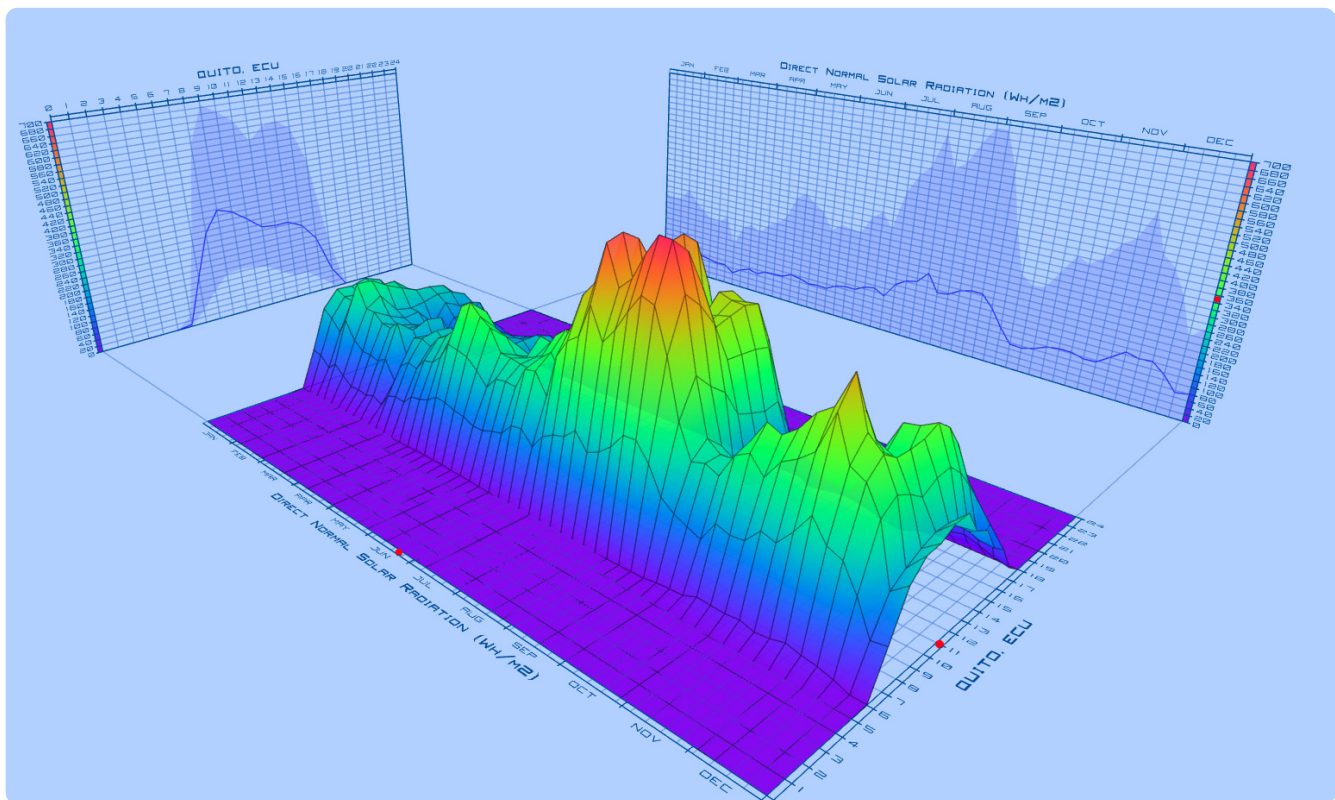
**Trópico de Capricornio:** Línea imaginaria en el hemisferio sur a 23,5° de latitud, donde el sol está directamente sobre la vertical durante el solsticio de invierno.

**Línea Ecuatorial:** Línea imaginaria que divide la tierra en hemisferios norte y sur, marcando la latitud 0°.



**Perfil de generación:** Describe la variación de la producción de energía a lo largo del año, muestra la influencia de factores como la ubicación geográfica, la inclinación y orientación de los paneles y las condiciones climáticas.

**Figura Nro. 3.4:** Perfil de la radiación solar durante el año



La figura muestra la radiación solar durante los meses y días del año, este comportamiento permite estimar la producción de energía del sistema fotovoltaico, las condiciones que se presenten en cada zona origina los diferentes escenarios de producción que se usan como insumos para los análisis de retorno y determinación del LCOE en los proyectos de autoabastecimiento.

### 3.4 Comparativa de la eficiencia en sistemas fotovoltaicos

Este análisis compara tres sistemas solares para autoabastecimiento<sup>3</sup> de 1 MW en AC, utilizando paneles con diferentes eficiencias. Se consideran características clave como: capacidad de los paneles, eficiencia, producción de energía en 30 años, costo de inversión, costos de AOM. Las principales características son:

Tabla Nro. 3.2: Parámetros de comparación de los SFV

Parámetro	SFV A	SFV B	SFV C
Eficiencia [%]	22,65	22,8	24,2
Potencia panel [W]	585	590	655
Potencia total AC [kW]	1.000	1.000	1.000
Relación DC/AC	1,21	1,19	1,29
Área del módulo [m²]	5.344	5.226	5.281
Energía, año 1 [MWh]	2.097	2.061	2.228
Energía, 30 años [GWh]	57,6	56,5	62,5
Inversión [USD/kW] <sup>4</sup>	\$720	\$720	\$720
Costo AOM [USD]	\$35	\$35	\$35
Tasa de Descuento [%]	10,2%	10,2%	10,2%

### 3.4.1 Análisis comparativo

#### 3.4.1.1 Costo de inversión vs. producción de energía

Los proyectos de energía solar fotovoltaica (SFV) requieren considerar tanto el costo de inversión inicial como la producción de energía a lo largo de su vida útil para evaluar su viabilidad económica. Por ejemplo, el SFV A tiene un costo de inversión de USD 869,760 y genera una cantidad significativa de energía, mientras que el SFV B, con un costo de inversión menor de USD 859,680, produce proporcionalmente menos energía. Por otro lado, el SFV C representa la opción con el mayor costo de inversión, de USD 928,800, pero también con la mayor capacidad de generación energética entre las alternativas consideradas.

La siguiente tabla presenta un resumen de los parámetros relevantes de cada opción:

Tabla Nro. 3.3: Resultados obtenidos

Parámetro	SFV A	SFV B	SFV C
Potencia del panel [W]	885 W	590 W	655 W
Eficiencia [%]	22,65%	22,8%	24,2%
Energía, 30 años [GWh]	57,6	56,5	62,5

<sup>3</sup> El autoabastecimiento no considera costos de inversión como el terreno e infraestructura civil para instalación.

<sup>4</sup> Estos proyectos no contemplan valores de inversión como: terrenos, infraestructura de interconexión y evacuación de energía y tampoco costos de Administración y Operación como ocurre en centrales que cuentan con título habilitante.

### 3.4.1.2 Evaluación de Costo de Inversión

- ✓ El costo total de un proyecto de SFV está influenciado por varios factores, incluyendo la inversión inicial, los costos operativos y la eficiencia del sistema. La opción del SFV C, a pesar de tener un costo de inversión más alto, demuestra cómo una mayor eficiencia y producción energética pueden compensar estos gastos iniciales. La alta eficiencia del módulo permite optimizar la generación de energía, distribuyendo los costos sobre una mayor producción total.
- ✓ El SFV A, aunque competitivo en términos de costos de inversión, puede no proporcionar el mismo rendimiento económico que el SFV C debido a su menor eficiencia en la conversión de energía.
- ✓ Por otro lado, el SFV B, con un costo de inversión inicial menor, ilustra cómo una inversión más baja no necesariamente resulta en un retorno óptimo, especialmente cuando la capacidad de producción energética es limitada.
- ✓ Estos resultados destacan la importancia de evaluar todos los aspectos de un proyecto, desde los costos de inversión hasta la eficiencia y la capacidad de generación de energía, para tomar decisiones bien fundamentadas que maximicen el valor económico y energético de las inversiones en energía solar fotovoltaica.

### 3.4.1.3 Costo por punto porcentual de eficiencia

El costo de inversión por punto porcentual de eficiencia es una métrica importante para evaluar la validez de una inversión en función de la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Este análisis es esencial cuando se busca maximizar tanto la producción de energía como el retorno económico a largo plazo.

En el análisis de las alternativas, el SFV C, a pesar de tener un costo de inversión inicial más alto, ofrece una mayor eficiencia del panel (24,2%) y una producción de energía superior en comparación con las otras opciones. Estas características permiten maximizar el retorno sobre la inversión en términos de eficiencia energética y costos de generación a largo plazo, justificando así su inversión inicial más elevada.

## 3.5 Análisis y conclusiones

### 3.5.1 Rentabilidad y sostenibilidad

Al asegurar que los paneles solares operen en condiciones óptimas, se garantiza una mayor producción de energía a lo largo de la vida útil de la planta. Esto no solo aumenta la rentabilidad del proyecto, sino que también contribuye a la sostenibilidad [4], al aprovechar al máximo los recursos solares disponibles.

### 3.5.2 Retornos de inversión en el mercado ecuatoriano

---

La energía solar para autoabastecimiento se ha consolidado como una de las alternativas más viables y sostenibles para la generación de energía en el contexto global; en el Ecuador, esta tecnología no solo es ambientalmente responsable, sino que también se ha convertido en una inversión atractiva para industrias y empresas que buscan reducir costos operativos y aumentar su competitividad.

### 3.5.3 Reducción de costos energéticos

---

La energía solar ofrece a las empresas la posibilidad de reducir significativamente su dependencia de la red eléctrica tradicional. Esta independencia se traduce además en una disminución notable de los costos energéticos a largo plazo; por lo tanto, el ahorro generado por la energía solar se convierte en un activo cada vez más valioso.

En el Ecuador, donde la radiación solar es constante y abundante, las plantas solares han demostrado ser una inversión especialmente rentable, permitiendo ya una recuperación de la inversión en periodos menores de 5 años y con el uso de tecnología eficiente.

### 3.5.4 Incentivo y subvenciones

---

El gobierno ecuatoriano ofrece varios incentivos fiscales, subvenciones y programas de financiamiento para fomentar la adopción de tecnologías limpias [5], entre ellas la energía solar. Estos incentivos pueden incluir exenciones fiscales y créditos blandos, lo que reduce significativamente el costo inicial de instalación de una planta solar. La existencia de estos programas de apoyo no solo acelera el tiempo de recuperación de la inversión, sino que también hace más accesible la tecnología solar a un mayor número de empresas e inversionistas.

Para el caso de desarrollo de proyectos fotovoltaicos existen líneas de crédito específicas, estas fomentan que las industrias implementen líneas verdes enfocadas en la sostenibilidad y reducción de la huella de carbono; entidades financieras como el Produbanco cuentan con productos crediticios enfocados a proyectos de energía solar para autoabastecimiento, estas otorgan tasas preferenciales, líneas de crédito específicas, plazos extendidos y hasta periodos de gracia.

### 3.5.5 Ahorro de operación y mantenimiento

---

Una de las ventajas más destacadas de las plantas solares es su bajo costo de operación y mantenimiento, si se compara con otras formas de generación; además si se considera que los sistemas solares tienen una vida útil de 25 a 30 años, su mantenimiento será inferior, esto permite que se cuente con márgenes de beneficio a largo plazo. Es importante mencionar que los costos de mantenimiento varían según las características del entorno de implantación de la planta.



### 3.5.6 Aumento del valor de la propiedad

---

Los sistemas de energía solar también pueden tener un impacto positivo en el valor de las propiedades. En el mercado inmobiliario, los edificios que cuentan con soluciones de energía renovable suelen incrementar en su valor de mercado. Este aumento se debe a la percepción de sostenibilidad y eficiencia energética que ofrecen estas instalaciones y que se traduce en una mayor plusvalía.

### 3.5.7 Ingreso por venta de excedentes

---

En algunos mercados internacionales, cuando es posible vender el excedente de energía generado a la red eléctrica, se puede generar ingresos adicionales; en el contexto ecuatoriano, los proyectos de autoconsumo permiten únicamente una transacción mediante el mecanismo de balance neto; esto significa que el excedente de energía inyectado a la red pública puede ser consumido hasta en 24 meses, ofreciendo incentivos en la gestión energética.

### 3.5.8 Impacto ambiental y responsabilidad social

---

Aunque no representa un retorno financiero directo, la adopción de este tipo de sistemas mejora significativamente la imagen corporativa de las empresas, ya que demuestra compromiso con la sostenibilidad, las empresas pueden atraer a clientes y socios comerciales que valoran las prácticas responsables. Este valor intangible puede, a largo plazo, generar beneficios económicos y fortalecer la posición de la empresa en el mercado.

### 3.5.9 Retorno sobre la inversión (ROI)

---

El retorno sobre la inversión en proyectos de energía solar varía en función de factores como la región, el tamaño del proyecto y los costos de instalación. En general, el tiempo de recuperación de la inversión en Ecuador oscila entre 4 y 7 años, dependiendo de la eficiencia energética de los paneles y las condiciones específicas del proyecto. Una vez superado este periodo, los sistemas solares continúan generando ahorros e ingresos, incrementando el ROI con el tiempo.



## 3.6 Recomendaciones

### 3.6.1 Factores clave para maximizar el ROI

---



**Costo inicial del proyecto:** Es necesario analizar no solo el precio sino también la eficiencia de los paneles, optimizar el diseño en los estudios preliminares, garantizar la instalación con mano de obra, puesta en marcha, materiales e insumos adicionales con técnicos calificados.



**Tasas de interés:** En proyectos financiados, las tasas de interés son determinantes en el tiempo de recuperación de la inversión, mientras mayor es el porcentaje de capital propio, mayor es la rentabilidad y puede contarse con menor tiempo de retorno de inversión.



**Eficiencia de los paneles:** La infraestructura de mayor calidad y eficiencia no solo producirá más energía, sino que también optimizará el uso del espacio de instalación, lo cual puede mejorar el rendimiento económico general del proyecto.



**Condiciones climáticas:** Las zonas con mayor radiación solar, como muchas regiones en Ecuador, tienen un mayor potencial de generación de energía, lo que acelera el retorno de la inversión.

Con todo lo mencionado se puede argumentar que los proyectos de energía solar en Ecuador representan una inversión sólida y rentable, respaldada por un entorno favorable tanto en términos de recursos naturales como de políticas gubernamentales. Con la correcta planificación, tecnología y ejecución, los retornos de inversión pueden ser alcanzados en plazos relativamente cortos, mientras se contribuye a la sostenibilidad ambiental y se fortalece el posicionamiento de las empresas en el mercado.

## 3.7 Bibliografía

[1] S. S. V. J. H.-T. N. T. S. Christoph Kost, «Levelized Cost Of Electricity Renewable Energy Technologies,» Fraunhofer Institute For Solar Energy Systems ISE, Baden Wurtemberg, 2018.

[2] I. R. E. A. IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2023, Abu Dhabi, 2023.

[3] P. M. I. PMI, La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2017.

[4] G. B. Urbina, Evaluación de proyectos, México, D. F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010.

[5] N. Asamblea, Ley Orgánica para el Desarrollo Económico y Sostenibilidad Fiscal, Quito: Registro Oficial, 2021.

# Autores



**Gabriel Casares Molina**  
Arquitecto, MBA

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER EL PERFIL DE LINKEDIN

in



**Emilio Calle García**  
Ingeniero Eléctrico, MBA

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER EL PERFIL DE LINKEDIN

in





# 04

CAPÍTULO

## Proyecto hidroeléctrico multipropósito La Agustina

EDICIÓN 24 ▶ SEPTIEMBRE 2024

PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024



# 04

## CAPÍTULO

# Proyecto hidroeléctrico multipropósito La Agustina

*El agua es a la vida, como la energía al desarrollo*

**Valeria Durán**  
Directora Ambiental  
KAWSUS CIA. LTDA.

**Valeria López**  
Directora Técnica  
KAWSUS CIA. LTDA.

**Karla Pezo**  
Jefe de Planificación y Gestión  
Organizacional  
KAWSUS CIA. LTDA.

## 4.1 Introducción

El potencial energético renovable de Ecuador, que incluye recursos hídricos, eólicos, solares, biogás y biomasa, ha sido clave para enfrentar la disminución de las reservas petroleras. En la última década, el país ha realizado esfuerzos significativos para diversificar su matriz energética, lo que ha permitido un notable incremento en la capacidad instalada de 2.263 MW en 2013 a 5.192 MW en 2023, impulsada por el crecimiento de las centrales hidroeléctricas.

La expansión de las centrales fotovoltaicas de 3 MW a 29 MW y la incorporación de parques eólicos, que han aumentado de 18 MW a 71 MW, reflejan este avance. Estas iniciativas han sido apoyadas por inversiones tanto públicas como privadas, en línea con la visión del Estado de transitar hacia un sistema energético más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles.

En 2023 y 2024, Ecuador enfrentó una severa crisis energética debido a una prolongada sequía, lo que subraya la urgencia de diversificar aún más las fuentes de energía y fortalecer la resiliencia del sistema eléctrico. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha establecido como prioridad el tránsito hacia energías limpias y renovables, adoptando modelos de negocio que promuevan la preservación ambiental y reduzcan el consumo de combustibles fósiles. Además, el marco legal ecuatoriano permite que tanto empresas públicas como privadas construyan y operen centrales de generación eléctrica, que cumplan con los requisitos regulatorios y ambientales establecidos para el efecto.

En un contexto nacional marcado por una crisis energética que se avecina, el Proyecto Hidroeléctrico Multipropósito Agustina aportará al estado ecuatoriano 19,2 MW con su desarrollo en dos fases. Considerando la incertidumbre hidrológica, se planifica en su primera fase la implementación de una turbina, generando 9,6 MW y en su segunda fase aumentar la generación, esta fase será viable una vez que se reduzca el riesgo hidrológico al mejorar y tecnificar el uso del agua en las zonas cercanas a la captación y que usan el recurso hídrico para riego y ganadería.

El proyecto se ubica en el cantón Girón, sector El Tablón, en la provincia del Azuay, donde se aprovecha el caudal del río El Burro y la topografía montañosa de la región sur del país, que ofrece una caída bruta óptima de 922 metros para la generación de hidroelectricidad, convirtiéndose así en el proyecto hidroeléctrico con mayor caída bruta en el Ecuador.

Con la puesta en marcha de ambas fases, se espera que Agustina contribuya con 98 GWh anuales al Sistema Nacional Interconectado (SNI), beneficiando al país con una generación a bajo costo y que

requiere el sistema para superar la crisis energética. Dicha contribución resalta la capacidad del país para captar recursos y permitir inversiones privadas.

Este proyecto nace como una iniciativa privada, impulsado por inversionistas ecuatorianos, cuyos estudios han sido desarrollados por la empresa KAWSUS CIA LTDA., este proyecto pretende aprovechar el caudal del río El Burro para generar energía limpia y sostenible, contribuyendo al suministro eléctrico del país, al desarrollo socioeconómico de la región, ofreciendo energía renovable al Sistema Nacional Interconectado a precios muy competitivos, pues si se compara con los precios actuales de importación de electricidad desde Colombia o generación térmica emergente, significan millones de dólares de ahorro para el país y el sector eléctrico.

## 4.2 Antecedentes



Desde su concepción en 1975, cuando fue inicialmente evaluado por el Ex-INECEL bajo el nombre de proyecto El Burro, esta iniciativa pasó por varias etapas de estudio y planificación por parte de la empresa pública; sin embargo, fue descartada por razones de orden financiero y técnico. En años recientes, el proyecto ha sido retomado por la empresa KAWSUS CIA LTDA. con el objetivo de optimizarlo y rediseñarlo para hacerlo viable y poder satisfacer la creciente demanda energética del país con la visión de crear una fuente de energía renovable que contribuya al desarrollo sostenible del Ecuador.

El desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), como Agustina, ha enfrentado limitaciones históricas debido al aumento de los costos fijos en proyectos de menor escala, lo que dificulta su viabilidad al no poder aprovechar las ventajas de las economías de escala. Sin embargo, con el Estado ofreciendo y dando señales de seguridad jurídica y precios justos, estos proyectos pueden convertirse en una solución viable de mediano plazo para mitigar la falta de oferta energética actual y futura. La estrategia de KAWSUS, promueve optimizar la generación de energía a través de un enfoque de construcción en fases, lo que permite que proyectos anteriormente considerados poco atractivos ahora sean factibles y sostenibles.

En la actualidad, el proyecto se encuentra en curso de obtener permisos, estos incluyen la Autorización de Aprovechamiento Productivo de Agua ante el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), institución que calificó el trámite el 22 de agosto de 2023; la certificación de disponibilidad de agua, otorgada por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) el 18 de octubre de 2023; la prefactibilidad técnica de conexión eléctrica a 69 kV, concedida por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. el 03 de junio de 2024.

Además, en respuesta a las necesidades de las comunidades locales en torno al acceso y gestión del recurso hídrico, el proyecto hidroeléctrico Agustina ha sido concebido como un proyecto multipropósito. Este enfoque no solo se centra en la generación de energía eléctrica, sino también en el desarrollo de soluciones de riego que beneficien directamente a las poblaciones circundantes.

Como parte de esta visión integral, se ha previsto la instalación de una planta fotovoltaica cuya capacidad instalada dependerá de la ubicación y de la cantidad de agua que se necesite bombear según se acuerde con los regantes interesados en recibir este beneficio. Esta instalación aprovechará la energía solar para alimentar un sistema de bombeo de agua que garantizará el suministro constante y confiable de agua a las comunidades cercanas. Esta solución es especialmente importante durante las épocas de sequía, cuando el acceso al agua se vuelve más limitado. Con ello, el proyecto Agustina se posiciona como un modelo de desarrollo que va más allá de la generación de energía, actuando como un motor para el desarrollo integral y sostenible de la región.

Dentro de este marco, a continuación, se presenta un análisis integral de los aspectos técnicos, ambientales y sociales del proyecto, destacando su viabilidad y su potencial impacto positivo en la comunidad local. Siendo este, el proyecto con el que las empresas ecuatorianas dan inicio a que Girón se sume para que el austro siga siendo el corazón energético del país, con los proyectos existentes y de los nuevos cuyo potencial se ha identificado en sectores de la cuenca del río Jubones y en el vecino cantón Saraguro.

## 4.3 Descripción del proyecto

El proyecto Agustina corresponde a una pequeña central de paso, valorada debido a su impacto ambiental reducido, su contribución a la conservación de los ecosistemas acuáticos, flexibilidad operativa y adaptabilidad, su potencial para el desarrollo sostenible y comunitario; y, su capacidad para generar energía limpia y renovable de manera confiable.

Se compone de varias obras principales y complementarias que permitirán el aprovechamiento del caudal del río El Burro para la generación de energía eléctrica.

**El proyecto se ha planificado para que pueda ser construido en dos fases:**

**01** La primera fase contempla el establecimiento de una sola turbina, lo que permitirá iniciar la generación de energía con 9,6 MW y unos 65 GWh/año de energía.

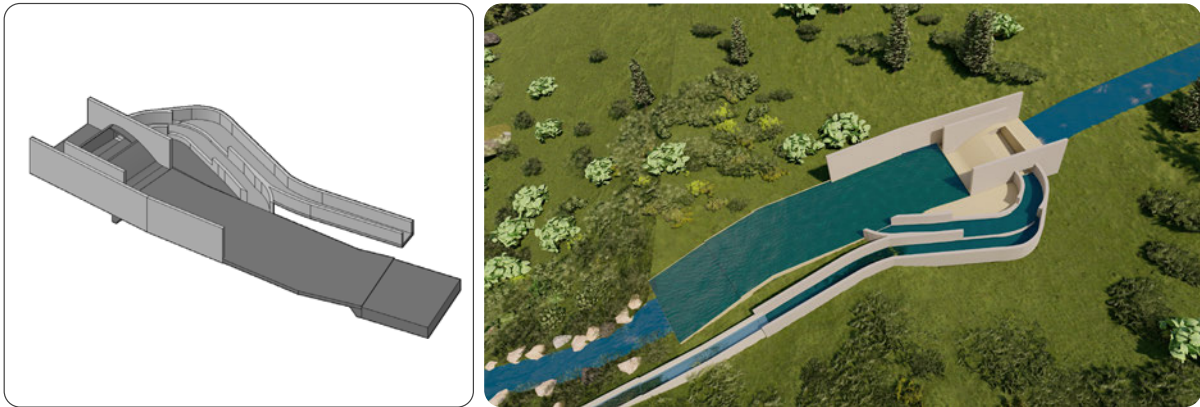
**02** La segunda fase, prevista para un futuro en el mediano plazo, se implementará en base a la reducción del riesgo hidrológico y tras realizar inversiones en tecnificación, modernización y capacitación técnica de uso eficiente del agua en los sistemas de riego, lo que permitirá instalar una segunda turbina y aumentar la capacidad de generación con 9,6 MW adicionales.

La generación por fases garantiza que el proyecto se adapte a las condiciones locales y a la disponibilidad de recursos.

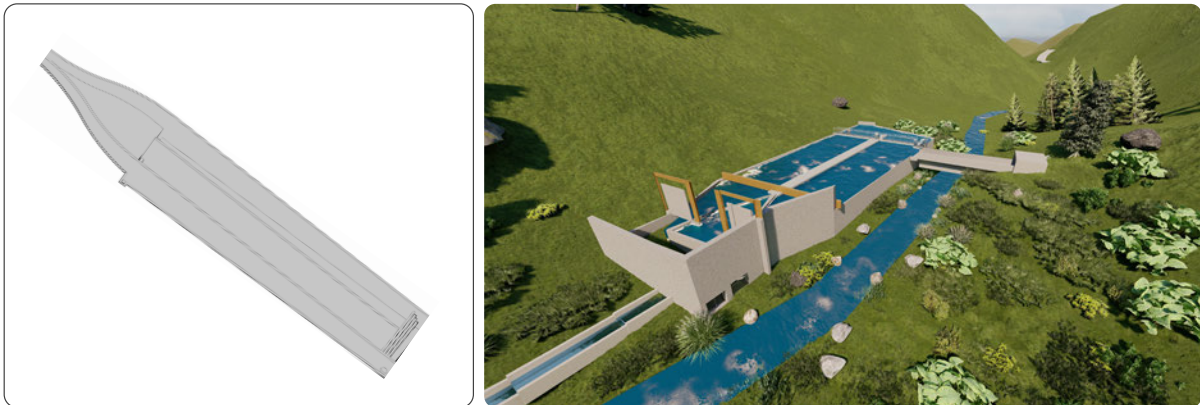
## 4.3.1 Obras principales

**Captación:** Azud tipo Creager de 1,70 m de altura y 5,7 m de ancho, con un desarenador de dos cámaras y un túnel de conducción de 1,3 km.

**Figura Nro. 4.1:** Esquema de obra de captación

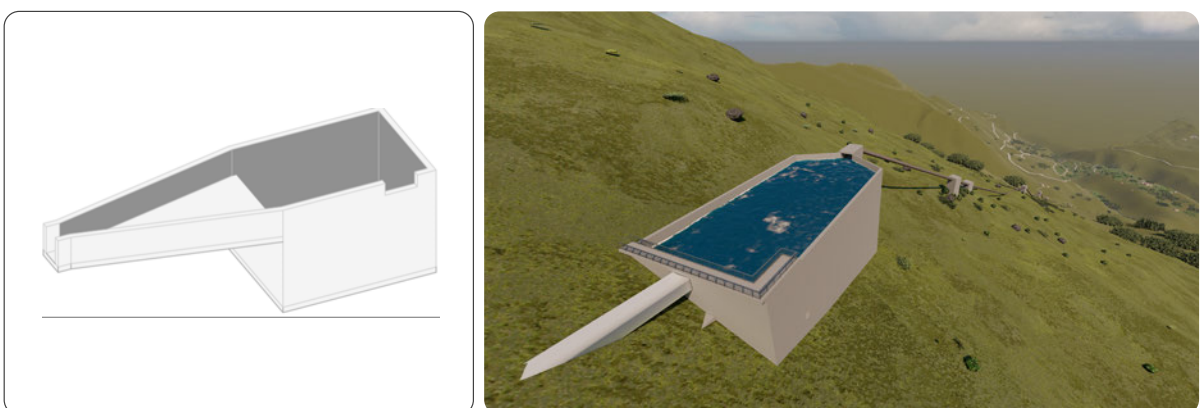


**Figura Nro. 4.2:** Sedimentador de dos cámaras



**Tanque de Carga:** Estructura diseñada para mantener la presión en la tubería de conducción, garantizando un flujo constante hacia la casa de máquinas..

**Figura Nro. 4.3:** Tanque de carga y de tubería a la salida del tanque





**Casa de Máquinas:** Alberga dos turbinas Pelton de eje vertical, aprovechando una caída de 922 m para generar energía.

**Figura Nro. 4.4:** Esquema de casa de máquinas



### 4.3.2 Obras complementarias

**Campamentos y oficinas:** Obra diseñada para proporcionar un espacio funcional y adecuado para el alojamiento, operación y gestión del personal involucrado en la construcción, operación y administración del proyecto.

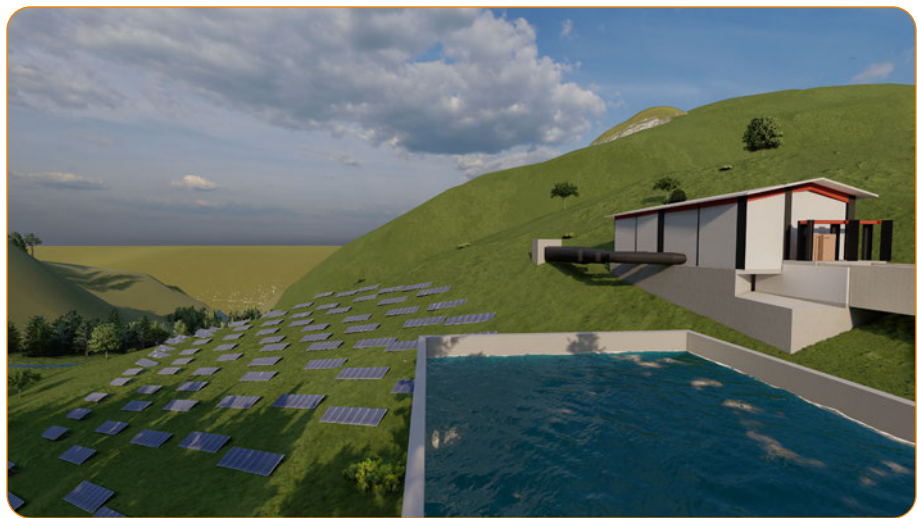
**Figura Nro. 4.5:** Campamento



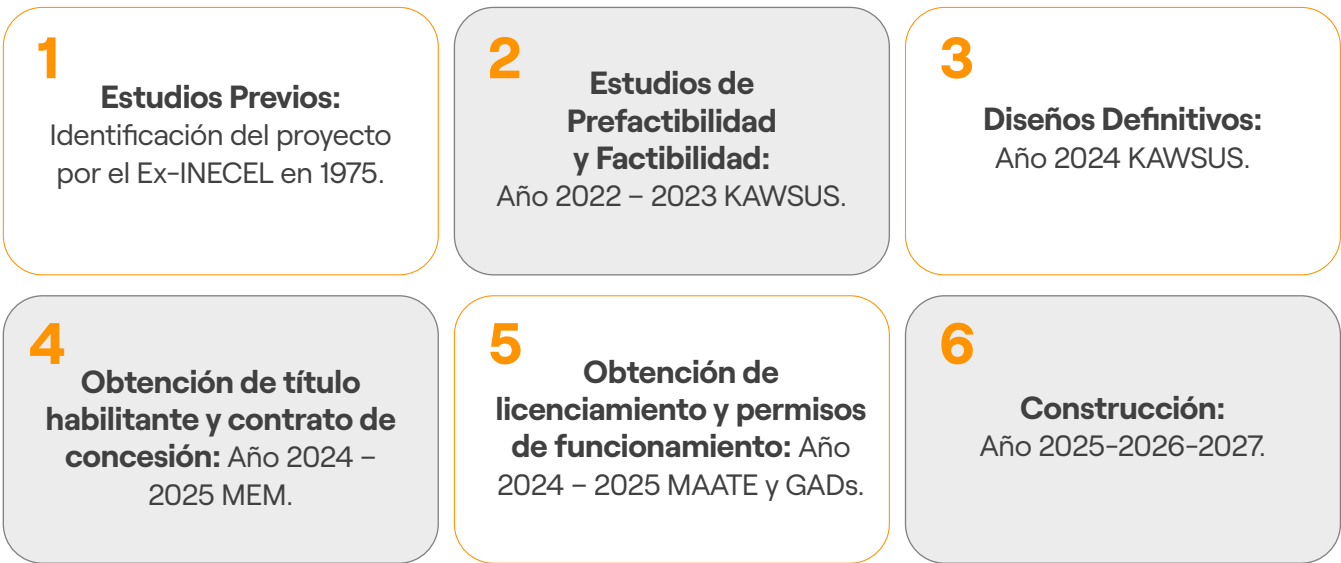
**Infraestructura Local:** Implementación de vías de acceso a las obras principales y mejora de las existentes, así como de puentes y redes eléctricas, beneficiando a las comunidades locales.

**Bombeo de agua:** Instalación de una planta fotovoltaica con aproximadamente 1 MW que suministrará energía para el bombeo de agua.

**Figura Nro. 4.6:** Sistema fotovoltaico



### 4.3.3 Etapas del proyecto



### 4.3.4 Desarrollo de los estudios

A lo largo de su historia, el proyecto hidroeléctrico Multipropósito Agustina ha avanzado a través de varias fases, incluyendo estudios realizados como prefactibilidad y factibilidad, y por culminar los estudios definitivos. Estos estudios han sido fundamentales para definir la viabilidad técnica y económica del proyecto, así como su impacto ambiental.

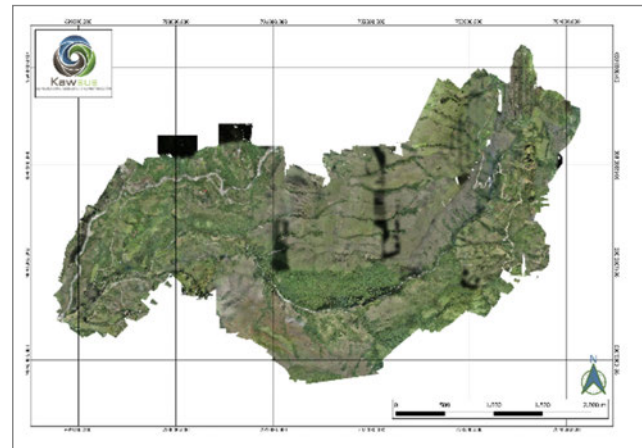
### Estudios Técnicos:

**Topografía:** Levantamiento topográfico mediante sistema GNSS y tecnología LiDAR, generando ortofotografías y modelos digitales de terreno.

**Figura Nro. 4.7:** Levantamiento topográfico mediante sistema GNSS y tecnología LiDAR

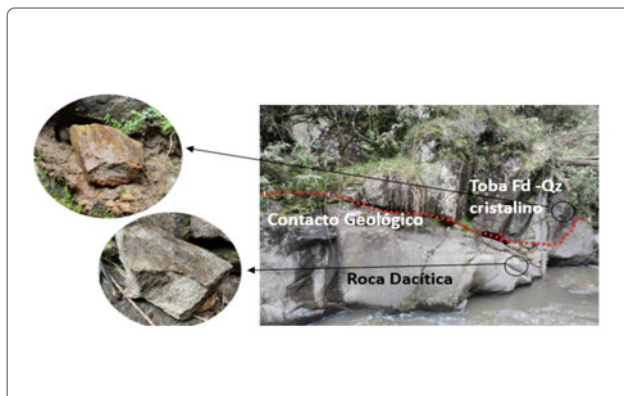


**Equipo Matrice M300  
con sensor Zenmuse L1**

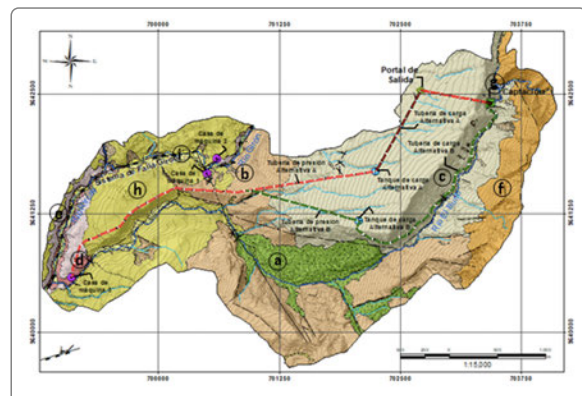


**Ortofotogrametría**

**Geología:** Identificación de las características geológicas del sitio, incluyendo la evaluación de riesgos geotécnicos y la estabilidad de las estructuras.



**Litología en captación**

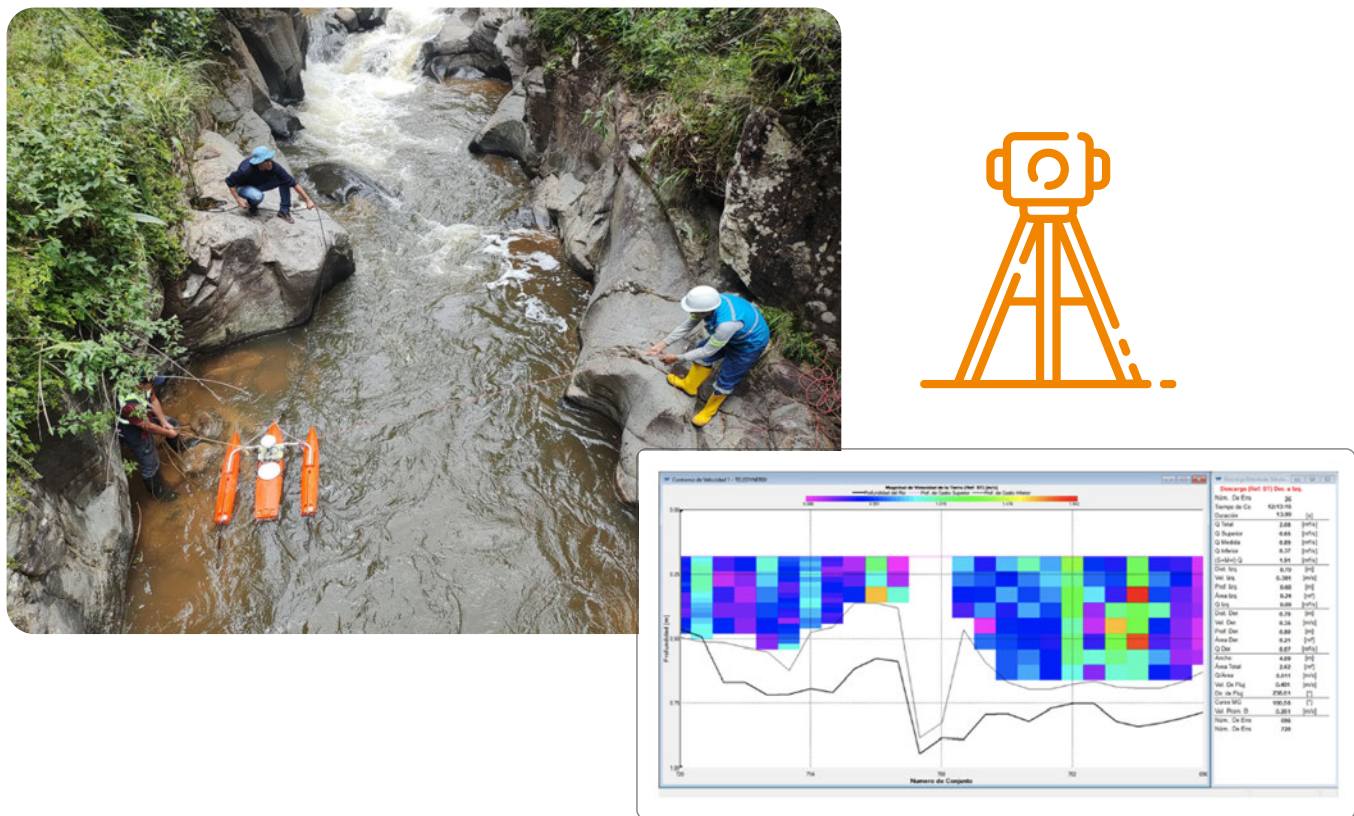


**Geología local**



**Hidrología:** Análisis de los caudales del río El Burro, determinando un caudal de diseño óptimo entre 2 y 2,5 m<sup>3</sup>/s, se dispone de la estadística de 25 años de medición de caudales.

**Figura Nro. 4.8:** Aforo mediante método ADCP



**Figura Nro. 4.9:** Aforo mediante método con flotadores

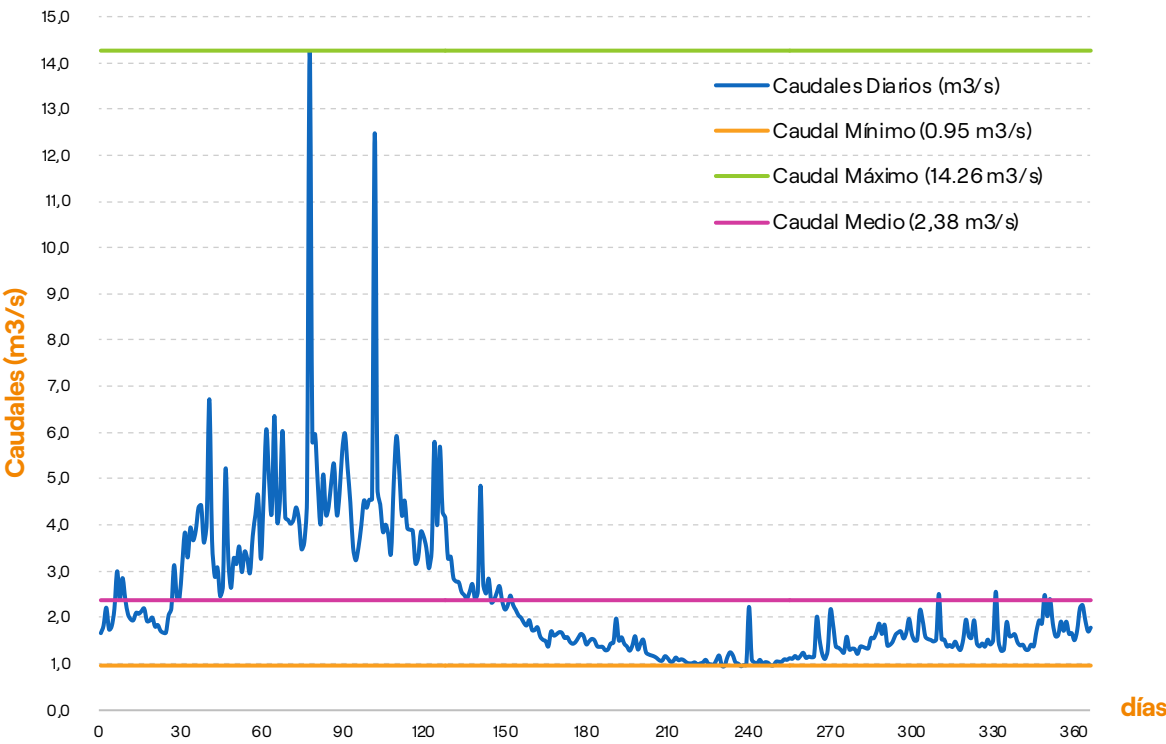




Figura Nro. 4.10: Regla limnimétrica instalada en 1975

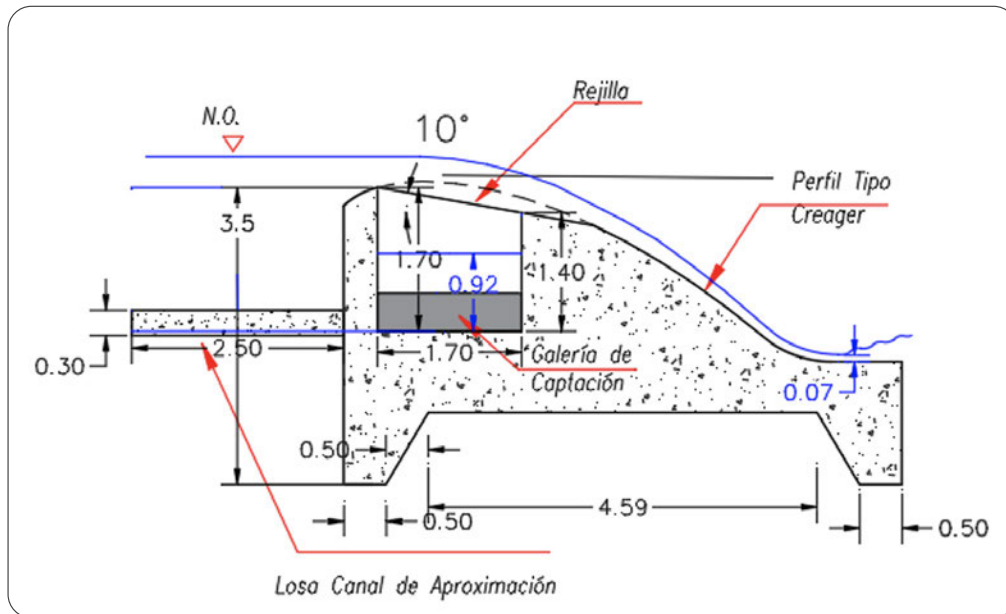


Figura Nro. 4.11: Caudal medio anual diario (período 1975 - 2000)

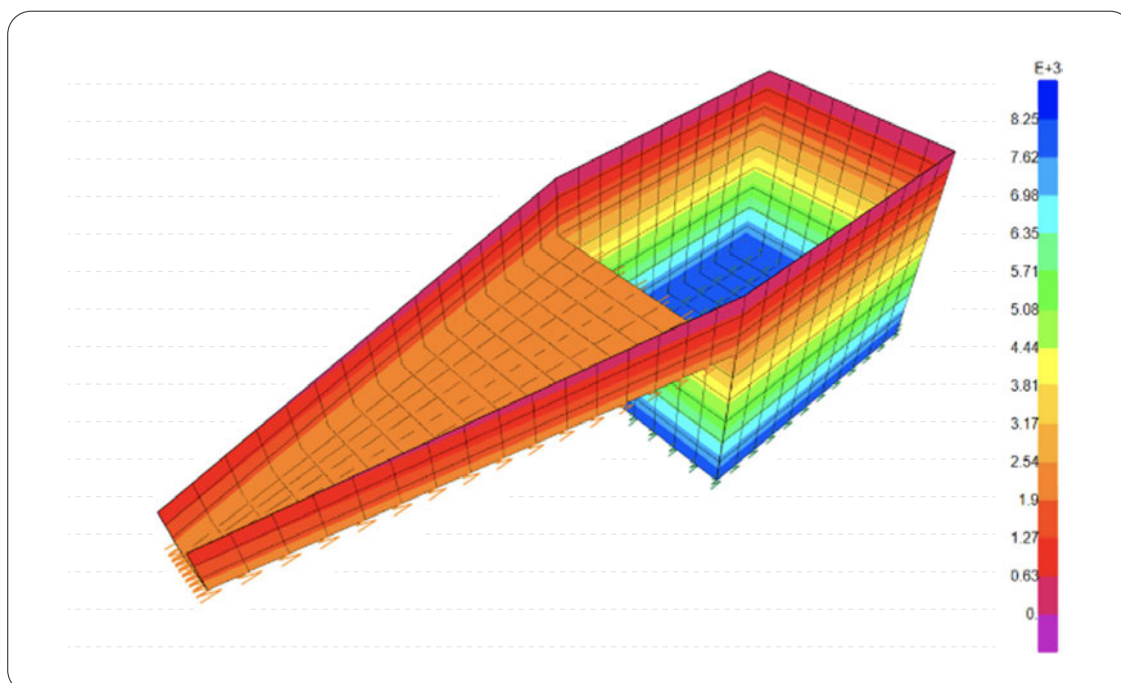


**Hidráulica y estructural:** Abarca el diseño, análisis y dimensionamiento de las obras hidráulicas y las estructuras que componen las obras del proyecto, como la captación, el desarenador, el túnel de conducción, el tanque de carga y la tubería de presión (3,6 km - 0,9 m diámetro) en base a las condiciones del sitio.

**Figura Nro. 4.12:** Esquema de galería de captación



**Figura Nro. 4.13:** Presión hidrostática en el tanque de carga



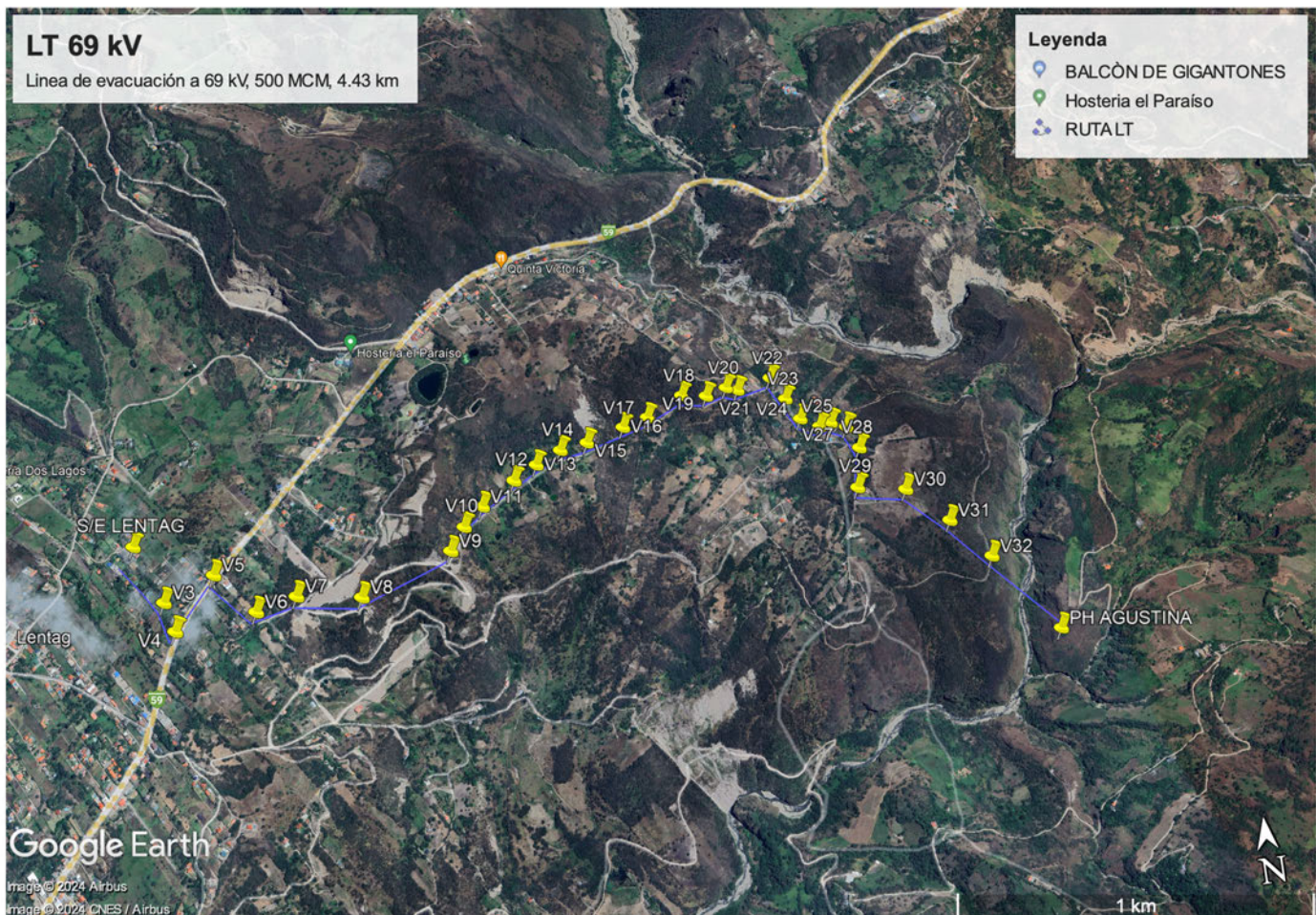


**Hidroenergético:** Con enfoque en maximizar el aprovechamiento del caudal del río El Burro para la generación de energía. Se realizaron cálculos detallados para determinar la potencia instalada óptima, que se estableció en 19,2 MW, con una generación anual estimada de 98 GWh, con la puesta en marcha de las dos turbinas.

Las turbinas son tipo Pelton para aprovechar la caída de 922 metros, asegurando alta eficiencia y confiabilidad en la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica.

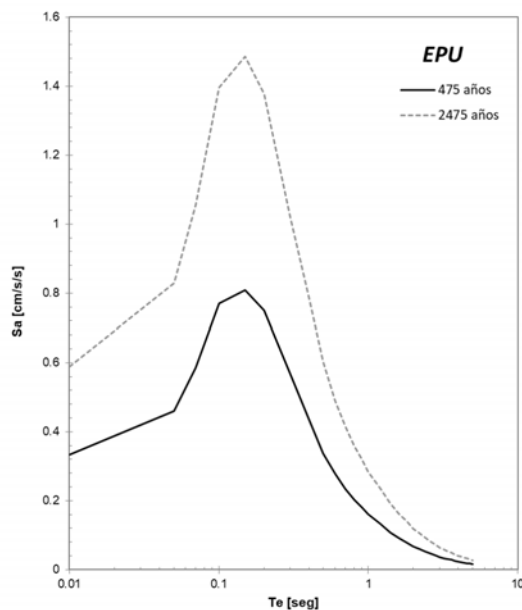
**Línea de transmisión:** El estudio resalta que la capacidad instalada propuesta para el generador es de 23,5 MVA, que será evacuada a través de una línea de transmisión aérea de 69 kV. Esta línea, con una longitud de 4,43 km, utilizará un conductor ACAR de 500 MCM y estará soportada por postes y estructuras tipo celosía, diseñadas para adaptarse al espacio disponible. La ruta de la línea seguirá la vía existente, minimizando la afectación a propiedades privadas y se conectará a la subestación N°14 Lentag.

**Figura Nro. 4.14:** LT a 69 kV de 4,43 km de longitud de la SE Agustina a la SE Lentag

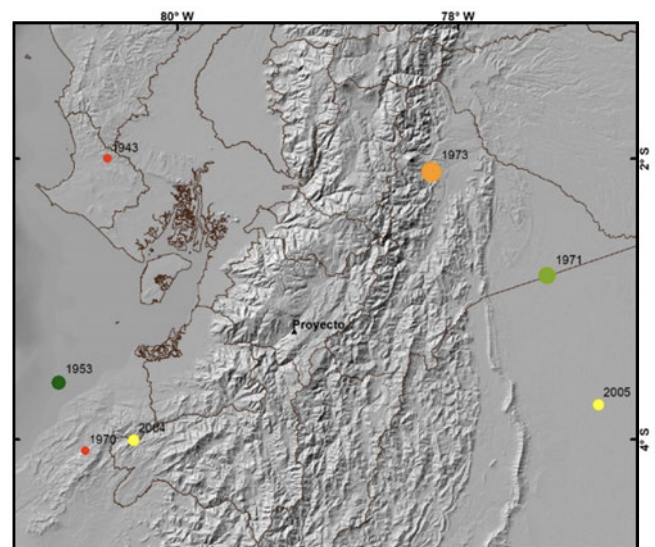


**Peligro sísmico:** Se centró en evaluar el peligro sísmico que incluye un modelo probabilista de peligro sísmico que considera diversas fuentes sismogénicas, la simulación de respuestas sísmicas y un análisis determinista para identificar los escenarios sísmicos más críticos, para ajustar las demandas sísmicas a las condiciones locales.

**Figura Nro. 4.15:** Espectros de peligro uniforme en roca, TR =475 y 2475 años. Escala semilogarítmica.



**Figura Nro. 4.16:** Mapa de epicentros de sismos considerados para análisis determinista



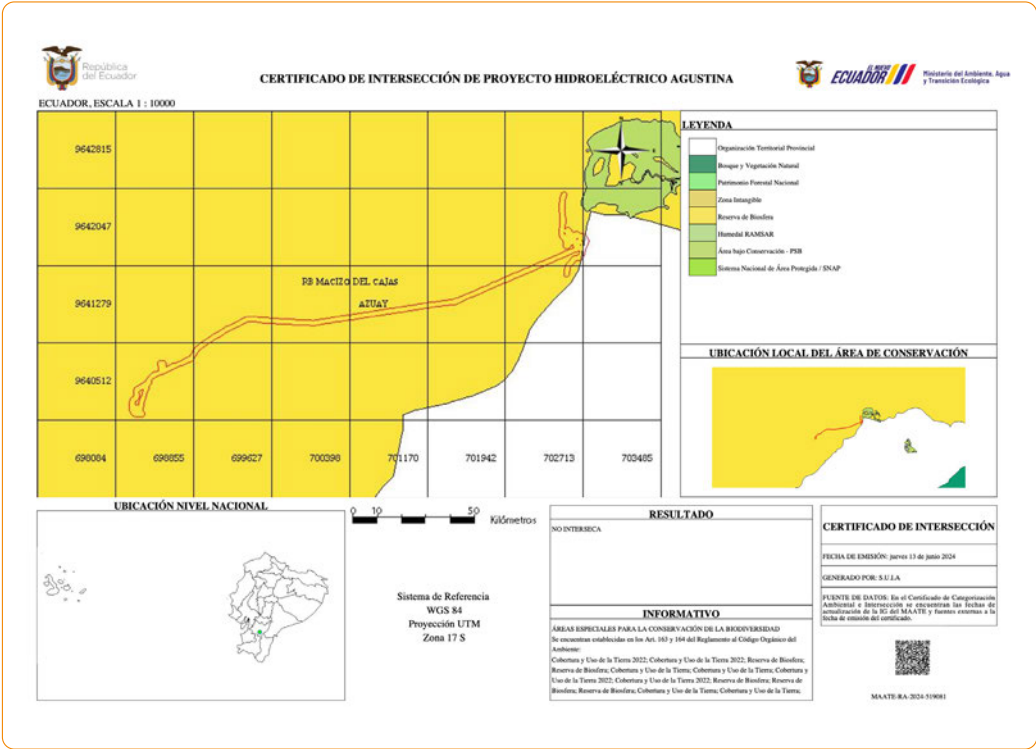
**Socioambiental:** A través de un diagnóstico preliminar en el sitio, se ha desarrollado un Plan de Manejo Ambiental que contempla la mitigación de impactos negativos y la promoción de beneficios para las comunidades locales. Se incluyen medidas para la protección de la biodiversidad, la reducción del riesgo de inundaciones y la implementación de soluciones sostenibles.

### ✓ Regularización ambiental

Del proceso automático ejecutado en el Sistema Único de Información Ambiental - SUIA del MAATE, se obtuvo que el proyecto, NO INTERSECA con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal Nacional y Zonas Intangibles.



Figura Nro. 4.17: Mapa de intersección con áreas protegidas y de conservación según el MAATE, 2024



Además, como parte del licenciamiento procede la ejecución de una consulta previa e informada a las comunidades del área de influencia directa, sobre la aceptación del proyecto, mediante el Proceso de Participación Ciudadana (PPC) requerido y exigido por la autoridad ambiental.

✓ Diagnóstico medio biótico

Se encuentra en un área intervenida con uso de suelo en su mayoría agrícola, cubiertos con cultivos, pastos y remanentes de vegetación arbustiva. La mayoría de las especies de fauna son comunes y otras están adaptadas a hábitats modificados.

Figura Nro. 4.18: Registro fotográfico componente biótico



## ✓ Productivo y social

El territorio donde desarrolla el proyecto está compuesto por pequeñas comunidades dedicadas al pastoreo extensivo y a la agricultura de subsistencia. La expansión de la frontera agrícola y el uso del sistema de riego por gravedad conduce al desperdicio de agua y al abandono gradual de la agricultura en favor del pastoreo, poniendo en riesgo la diversidad de semillas nativas.

Ante esta problemática, Agustina ha impulsado intervenciones sociales que incluyen la concientización sobre las prácticas agropecuarias y el compromiso de diseñar planes de intervención para proteger la soberanía alimentaria. Estos planes, que se financiarán con las regalías anuales del proyecto, se centran en el manejo de sistemas silvopastoriles, la creación de huertos agroecológicos, la propagación de semillas nativas y sobre todo la tecnificación del riego. La visión social del proyecto busca colaborar con los gobiernos locales y organizaciones comunitarias para promover el desarrollo rural sostenible y la preservación de los recursos naturales.



**Económico y financiero:**

Evaluación detallada de la viabilidad de la inversión, considerando los costos de construcción, operación, y mantenimiento. Se realizaron simulaciones de flujo de caja y cálculos de TIR y VAN, que confirmaron la rentabilidad del proyecto. Asegurando que la implementación del proyecto no solo es técnicamente viable, sino también financieramente sostenible, con un impacto positivo tanto a corto como a largo plazo para los inversores y la comunidad.

## 4.4 Beneficios a la población local y regional

### 4.4.1 Beneficios ambientales:

---

- ☒ Diversificación de la matriz energética: el proyecto añade una fuente renovable y sostenible a la matriz energética del país.
- ☒ Reducción del riesgo de inundaciones en sectores agrícolas y comunidades locales ubicadas aguas abajo del proyecto.
- ☒ Protección de la biodiversidad local, mediante estrategias de monitoreo y conservación incluidas en el Plan de Manejo Ambiental.
- ☒ Sustitución de energía basada en combustibles fósiles reduciendo la dependencia del país en aproximadamente 98 GWh anuales.
- ☒ Agua turbinada limpia y devuelta al cauce en su totalidad para uso doméstico o riego.

### 4.4.2 Beneficios sociales:

---

- ☒ Modelo de solución para dotar de energía al país en el mediano plazo, integrando energías renovables en la matriz energética nacional.
- ☒ Incremento en la oferta energética: aportación de 19,2 MW de potencia y 98 GWh/año de energía al Sistema Nacional Interconectado, con la puesta en marcha de ambas turbinas.
- ☒ Implementación de una red mediante tensión trifásica (22 kV), lo que se traduce en la mejora de la calidad del suministro eléctrico en la zona de influencia directa e indirecta.
- ☒ Optimiza el sistema eléctrico de subtransmisión de la E.E. Centrosur ya que reduce los flujos de potencia a nivel de 69 kV y por ende las pérdidas de energía en la transmisión de flujos de potencia que van desde la subestación Turi hacia la subestación Lentag, pues la energía generada del proyecto se inyectará directamente a la carga de los cantones y comunidades de la cuenca del río Jubones; (LT 4,4 km de longitud desde Agustina a subestacion Lentag vs 35 km sistema actual).

- ✓ Fuentes de empleo directo con mano de obra local y fuentes de empleo indirecto con el incremento de la demanda de servicios de alimentación, hospedaje, transporte, servicios mecánico automotriz, metal mecánico, maquinarias, entre los principales durante la construcción y operación.
- ✓ Aporta con el 12% de las utilidades generadas por el proyecto desde el primer año de operación serán destinadas como regalías a los GADs y juntas parroquiales de la zona, contribuyendo al desarrollo local.
- ✓ Mejora de la infraestructura vial local sobre las vías de acceso al proyecto.
- ✓ Implementación, tecnificación y modernización de los sistemas de riego local basándose en el uso de energía fotovoltaica, lo que servirá como un ejemplo a seguir para proyectos donde se integren conceptos de sostenibilidad y sustentabilidad energética como aportante principal de la soberanía alimentaria.
- ✓ Sólida capacitación para el uso eficiente de las fuentes hídricas, acompañada de un apoyo continuo a las comunidades locales para asegurar la sostenibilidad y la optimización en la gestión del agua.
- ✓ Aporte energético en la cuenca hidrográfica del Océano Pacífico, aportando con suministro de energía complementaria a la cuenca oriental.

### 4.4.3 Beneficios económicos:

---

- ✓ Aproximadamente \$40 millones de inversión privada, promueven el crecimiento económico local y de la región.
- ✓ Dinamización de la economía local mediante empleos, contrataciones de servicios, aumento de la actividad económica, generación de nuevas oportunidades de negocio.
- ✓ Reduce la necesidad de importar energía o de generar energía térmica emergente, considerando que ambas fuentes tienen altos costos de producción.
- ✓ Atracción de futura inversión para el desarrollo de un circuito turístico energético mancomunado en la cuenca del río Jubones, basado en energías renovables, que integre proyectos solares, eólicos e hidroeléctricos existentes y futuros de la zona.



Autores



**Valeria Durán**  
Directora Ambiental  
KAWSUS CIA. LTDA.

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN

in



**Valeria López**  
Directora Técnica  
KAWSUS CIA. LTDA.

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN

in



**Karla Pezo**  
Jefe de Planificación  
y Gestión Organizacional

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN

in



# 05

CAPÍTULO

**Optimización del despacho económico  
de generación multiobjetivo:**  
aplicación de la eficiencia de Pareto en  
la evaluación de costos ambientales y  
de producción

## 05

## CAPÍTULO

# Optimización del despacho económico de generación multiobjetivo: aplicación de la eficiencia de Pareto en la evaluación de costos ambientales y de producción

**Santiago Raúl Espinosa**Magister en Eficiencia Energética  
Agencia de Regulación y Control de  
Electricidad

## 5.1 Introducción

La crisis energética global y el cambio climático son dos preocupaciones estrechamente vinculadas en la búsqueda de un desarrollo sostenible, y las crecientes demandas de energía plantean desafíos ambientales significativos[1]. La incorporación de recursos de energía renovable (ER), la mejora en la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran estrategias viables para enfrentar estos retos [2].

A medida que aumenta la adopción de tecnologías renovables en todo el mundo, la generación de electricidad intermitente ha incrementado la incertidumbre y la variabilidad en los sistemas eléctricos, lo que genera desafíos adicionales en términos de economía y confiabilidad [3]. En este contexto, es necesario abordar desafíos intensivos de planificación y operación para garantizar un suministro de energía confiable y estable. Por esta razón, las unidades térmicas (como las unidades generadoras de carbón, diésel o gas natural) se integran como unidades de respaldo flexible en sistemas de energía basados en ER [4].

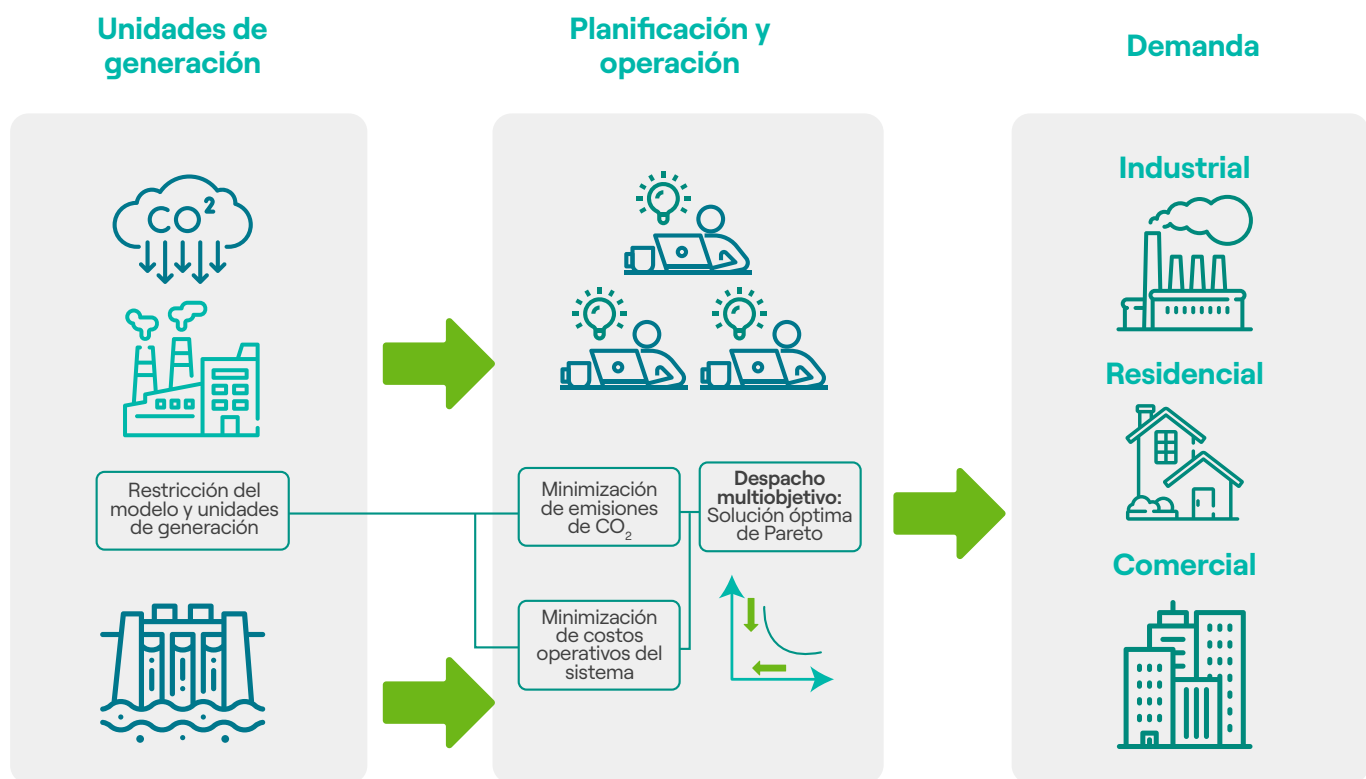
Además de los fines económicos, la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es una preocupación importante en la integración de la generación de energía no convencional en un sistema integrado. Esto se debe a que los tomadores de decisiones enfrentan diversos objetivos bajo múltiples restricciones [5]. Sin embargo, estos objetivos suelen ser interdependientes, lo que hace necesario optimizar las compensaciones entre ellos. En este contexto, la eficiencia económica de la operación y la protección ambiental suelen estar en conflicto, por lo que encontrar un equilibrio entre ambos es fundamental para desarrollar un método de operación y despacho ambiental del sistema de energía. Este enfoque cobra especial relevancia en la actualidad, dada la importancia creciente de la preservación del ambiente [6].

Bajo lo expuesto, una tarea importante en la operación del sistema eléctrico es la combinación óptima de unidades de generación para satisfacer la demanda horaria pronosticada. En este contexto, el despacho económico es un problema fundamental en el funcionamiento del sistema, que consiste en despachar la carga a cada unidad con el objetivo de minimizar el costo total de operación, asegurando que el consumo energético del sistema sea el más eficiente posible [7]. La creciente complejidad de la estructura del sistema eléctrico, los modos de operación y los métodos de despacho presentan nuevas oportunidades

y desafíos para el desarrollo de modelos de despacho económico óptimo, los cuales tradicionalmente han priorizado los beneficios económicos como único objetivo [8].

En consecuencia, el análisis que se presenta a continuación busca establecer un modelo de optimización para el despacho de potencia en un parque generador, considerando dos funciones objetivo-relacionadas; los costos de producción y el impacto ambiental del sistema. Mediante la aplicación de la metodología de la eficiencia de Pareto, se busca cumplir con las restricciones operativas del problema; la Figura 5.1 muestra un esquema gráfico de lo descrito.

**Figura Nro. 5.1:** Esquematización del modelo de despacho multiobjetivo



## 5.2 Frontera Pareto eficiente

El enfoque clásico para identificar el conjunto óptimo de Pareto es el método basado en preferencias, que utiliza un vector de ponderación para convertir los múltiples objetivos en un único valor escalar. Al transformar un problema de optimización multiobjetivo en uno de un solo objetivo, se obtiene una solución óptima, la cual es altamente sensible a los pesos asignados. Para determinar el frente óptimo de Pareto, se empleará la variación épsilon [9]. Dado que la formulación requiere minimizar simultáneamente dos funciones objetivo, se implementarán las siguientes acciones:



- ✓ Resolver el problema de optimización de manera independiente para cada función objetivo, obteniendo así el mínimo de cada una.
- ✓ Almacenar los valores obtenidos.

Incorporar una restricción a una de las funciones objetivos de la siguiente forma:

$$f_2 \leq \varepsilon$$

- ✓ El valor de  $\varepsilon$  variará de  $f_2^{\min}$  a  $f_2^{\max}$  según la cantidad de casos evaluados, maximizando en cada caso la  $f_1$ .
- ✓ La  $f_1$  representa los costos, mientras que  $f_2$  corresponde a las emisiones.

El valor de  $\varepsilon$  se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\varepsilon_i = f_2^{\max} + \frac{[(f_2^{\min} - f_2^{\max}) \cdot c_i]}{Cn}$$

- ✓ Donde  $c_i$  es un contador que define la cantidad de puntos en el frente de Pareto y  $Cn$  es el valor total del contador.
- ✓ Este método permite determinar la frontera de Pareto, destacando que cada punto en esta frontera corresponde a una solución factible del problema de optimización, siguiendo la filosofía descrita.
- ✓ Con las soluciones obtenidas, es necesario seleccionar una que brinde el mejor balance entre los objetivos. Dado que algunas soluciones óptimas pueden favorecer ciertos criterios sobre otros, es esencial evaluar las opciones y seleccionar aquella que ajusta de manera equitativa todos los objetivos. En este trabajo, se emplean funciones de afinidad o pertenencia para los objetivos [9], utilizando la siguiente formulación.

$$u_{f_k}(X_c) = \begin{cases} 0 & \text{si } f_k^{\min} \leq f_k(X_c) \leq f_k^{\max} \\ \frac{f_k^{\max} - f_k(X_c)}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} & \text{si } f_k(X_c) < f_k^{\min} \text{ o } f_k(X_c) > f_k^{\max} \end{cases}$$



Según [9], un tomador de decisiones conservador buscará maximizar la satisfacción mínima entre todos los objetivos o minimizar la máxima insatisfacción. Así, la solución final puede encontrarse mediante:

$$\max(\min u^{\text{fk}}(X_c))$$

## 5.3 Modelado

A continuación, se presenta la descripción matemática del modelo de optimización que se estructura como un problema multiobjetivo y servirá como herramienta para los procesos de despacho económico. Este modelo permitirá seleccionar las unidades del parque generador para satisfacer la demanda minimizando tanto los costos de operación del sistema como las emisiones de gases de efecto invernadero. El problema matemático planteado considera las unidades de generación, los parámetros asociados a costos y emisiones, y la demanda horaria, lo que lo convierte en un problema no lineal multiobjetivo. A continuación, se detallan los elementos principales.

### 5.3.1 Funciones objetivo

El modelo matemático incluye dos funciones objetivo: la primera busca minimizar el costo operativo del parque generador, y la segunda, reducir la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero. Las ecuaciones correspondientes son:

$$\text{Ob1} = \sum_{p=1}^{24} \left( \sum_{\text{Th}} a_{\text{th}} \cdot \text{Pg}_{\text{th},p}^2 + b_{\text{th}} \cdot \text{Pg}_{\text{th},p} + C_{\text{th}} + \sum_{\text{H}} P_{\text{h}} \cdot \text{Pg}_{\text{h},p} \right) \quad (1)$$

$$\text{Ob2} = \sum_{p=1}^{24} \left( \sum_{\text{Th}} d_{\text{th}} \cdot \text{Pg}_{\text{th},p}^2 + e_{\text{th}} \cdot \text{Pg}_{\text{th},p} + f_{\text{th}} \right) \quad (2)$$

Donde  $a_{\text{th}}$ ,  $b_{\text{th}}$  y  $c_{\text{th}}$  son los coeficientes para la función de costos de las centrales térmicas, mientras que,  $d_{\text{th}}$ ,  $e_{\text{th}}$  y  $f_{\text{th}}$  corresponden a los coeficientes para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Las variables  $\text{Pg}_{\text{th},p}$  y  $\text{Pg}_{\text{h},p}$  representan las potencias activas despachadas por los generadores térmicos e hidroeléctricos, respectivamente en cada período de tiempo  $p$ .

### 5.3.2 Restricciones

Abastecimiento de la demanda: la producción de energía por parte de los generadores térmicos e hidroeléctricos debe satisfacer la demanda en cada hora del período de análisis, incluyendo un porcentaje de pérdidas. La ecuación correspondiente es:

$$\left( \sum_{Th} Pg_{th,p} + \sum_H Pg_{h,p} \right) = Carga_p + PL_p \quad (3)$$

Donde  $Carga_p$  y  $PL_p$  representa la demanda y las pérdidas de potencia activa, calculadas como un porcentaje de la demanda, respectivamente, para cada período  $p$ .

Restricciones técnicas de los generadores: Los generadores tienen límites técnicos que registren la cantidad de potencia activa que producir; además, se debe modelar la capacidad de potencia de los generadores para incrementar o reducir la potencia entre períodos, optimizando la operación del sistema. Las restricciones se expresan como:

$$Pg_{lo_{th,h}} \leq Pg_{th,h,p} \leq Pg_{up_{th,h}} \quad (4)$$

$$Pg_{th,h,p+1} - Pg_{th,h,p} \leq Pup_{th,h} \quad (5)$$

$$Pg_{th,h,p-1} - Pg_{th,h,p} \leq Pdown_{th,h} \quad (6)$$

Donde  $Pg_{lo_{th,h}}$  y  $Pg_{up_{th,h}}$  son los límites mínimo y máximo de potencia, mientras que  $Pup_{th,h}$  y  $Pdown_{th,h}$  son las rampas de subida o bajada, respectivamente.

Energía base: Esta restricción establece la cantidad de energía que los generadores hidroeléctricos deben entregar durante el período de análisis, en función de la planificación operativa. En un escenario lluvioso, la energía base es alta, mientras que en un escenario seco es mínima. Para este estudio, se modelará un escenario intermedio con un factor de planta equivalente a 60%, como se indica en [10].

$$\sum_{p=1}^{24} \sum_h^H Pg_{h,p} \leq FP_{eq} \cdot P \cdot \sum_h^H Pgup_h \quad (7)$$

Donde  $FP_{eq}$  y  $P$  es el factor de planta equivalente de las centrales hidroeléctricas y  $P$  es el período de tiempo analizado, que en este caso es de 24 horas.

### 5.4 Datos

Para aplicar el modelo de optimización multiobjetivo, se utilizarán 13 generadores, de los cuales 10 son de tipo térmico y 3 son hidroeléctricos. Además, el modelo empleará una curva de demanda diaria, cuyo detalle se presenta a continuación.

Tabla Nro. 5.1: Datos de la generación termoeléctrica

Item	Cat	Fac_1	Fac_2	Fac_3	Alfa	Beta	Pgup	Pglo	Pup	Pdown
		MBtu/MW²	MBtu/MW	MBtu	(USD/MBtu)	(lb/MBtu)	(MW)	(MW)	(MW/h)	(MW/h)
Gen 1	Gas	0,004773	6.8	468.7	1,4	1,66	320	150	100	100
Gen 2	Gas	0,002385	7.531	245,3	1,4	1,65	190	100	55	55
Gen 3	Bunker	0,006788	7.606	146,8	1,6	3,01	300	100	100	100
Gen 4	Bunker	0,004879	7.72	160,5	1,6	2,84	500	100	100	100
Gen 5	Bunker	0,005573	7.722	176,5	1,6	2,45	500	85	150	150
Gen 6	Bunker	0,003408	7.814	249,3	1,6	2,76	600	50	150	150
Gen 7	Bunker	0,001464	7.965	213,8	1,6	3,12	250	100	85	85
Gen 8	Diesel	0,001308	9.134	144	1,8	4,35	400	100	100	100
Gen 9	Diesel	0,017923	9.583	175,1	1,8	3,98	800	100	150	150
Gen 10	Diesel	0,000202	10.213	74,4	1,8	4,87	200	100	50	50

Tabla Nro. 5.2: Datos de la generación hidroeléctrica

Item	Cat	Pnom	FP	Pgup	Pglo	Pup	Pdown	Precio
		(MW)		(MW)	(MW)	(MW/h)	(MW/h)	(USD/MWh)
Gen 11	Pasada	250	0,6	150	0	50	50	35
Gen 12	Pasada	200	0,6	120	0	60	60	46
Gen 13	Pasada	250	0,6	150	0	30	30	28



Para determinar la curva de demanda se utilizaron los datos descritos en [11], adaptándolos para su aplicación en el presente estudio. Los valores se presentan a continuación:

**Tabla Nro. 5.3:** Demanda a ser abastecida incluido pérdidas

Demanda + Pérdidas (MW)			
Per 1	1.994,74	Per 13	2.949,38
Per 2	2.073,18	Per 14	2.935,03
Per 3	2.018,20	Per 15	3.037,28
Per 4	1.994,74	Per 16	3.313,24
Per 5	2.014,35	Per 17	3.405,34
Per 6	2.253,19	Per 18	3.441,07
Per 7	2.527,04	Per 19	3.502,00
Per 8	2.683,23	Per 20	3.432,31
Per 9	2.839,42	Per 21	3.225,34
Per 10	2.870,94	Per 22	2.883,20
Per 11	2.925,92	Per 23	2.659,77
Per 12	2.972,85	Per 24	2.503,23

## 5.5 Resultados

Se han resuelto 16 escenarios diferentes mediante la aplicación del modelo de optimización multiobjetivo, lo cual permite construir el frente de Pareto. Es importante destacar que, en cada escenario, se ha llevado a cabo un despacho económico viable considerando ambas funciones objetivo. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla Nro. 5.4.



Tabla Nro. 5.4: Resultados de los eventos simulados

	Eps	Costo	Emisiones
		(USD)	(tonCO <sub>2</sub> )
Evento 1	737,39	9.349.824,29	737,39
Evento 2	736,23	9.349.913,26	736,23
Evento 3	735,06	9.350.155,42	735,06
Evento 4	733,9	9.350.551,45	733,9
Evento 5	732,74	9.351.189,55	732,74
Evento 6	731,58	9.352.121,14	731,58
Evento 7	730,41	9.353.373,32	730,41
Evento 8	729,25	9.354.982,83	729,25
Evento 9	728,09	9.356.981,12	728,09
Evento 10	726,93	9.359.431,81	726,93
Evento 11	725,76	9.362.446,10	725,76
Evento 12	724,6	9.366.457,58	724,6
Evento 13	723,44	9.371.807,30	723,44
Evento 14	722,28	9.378.881,21	722,28
Evento 15	721,11	9.388.605,59	721,11
Evento 16	719,95	9.424.426,43	719,95

Una vez obtenido el frente de Pareto, se realiza un análisis posterior detallado para seleccionar la solución que mejor equilibre todos los objetivos. Para ello, se aplican las funciones de pertenencia mencionadas anteriormente, obteniendo como resultado que el punto óptimo corresponde al despacho realizado en el Evento 12, el cual se caracteriza por un costo de 9.366.457,58 y un total de emisiones de 724,60 ton CO<sub>2</sub>. La siguiente figura muestra el despacho obtenido para el Evento 12, desglosado por tipo de tecnología y tipo de combustible.

Figura Nro. 5.2: Solución óptima del frente de Pareto (1/2)

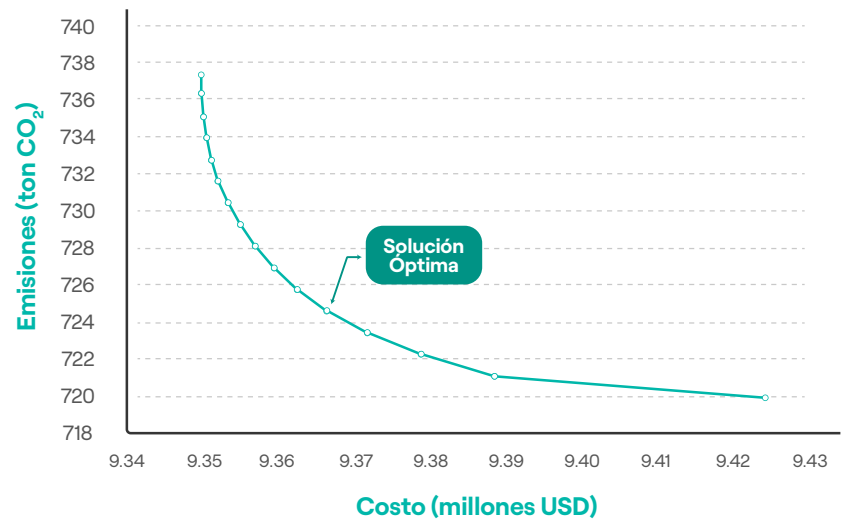
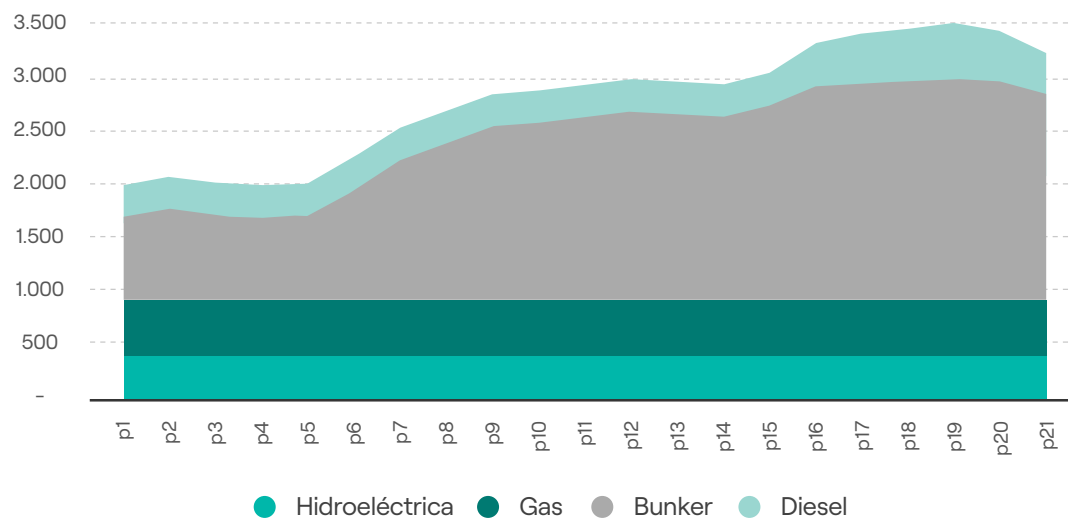
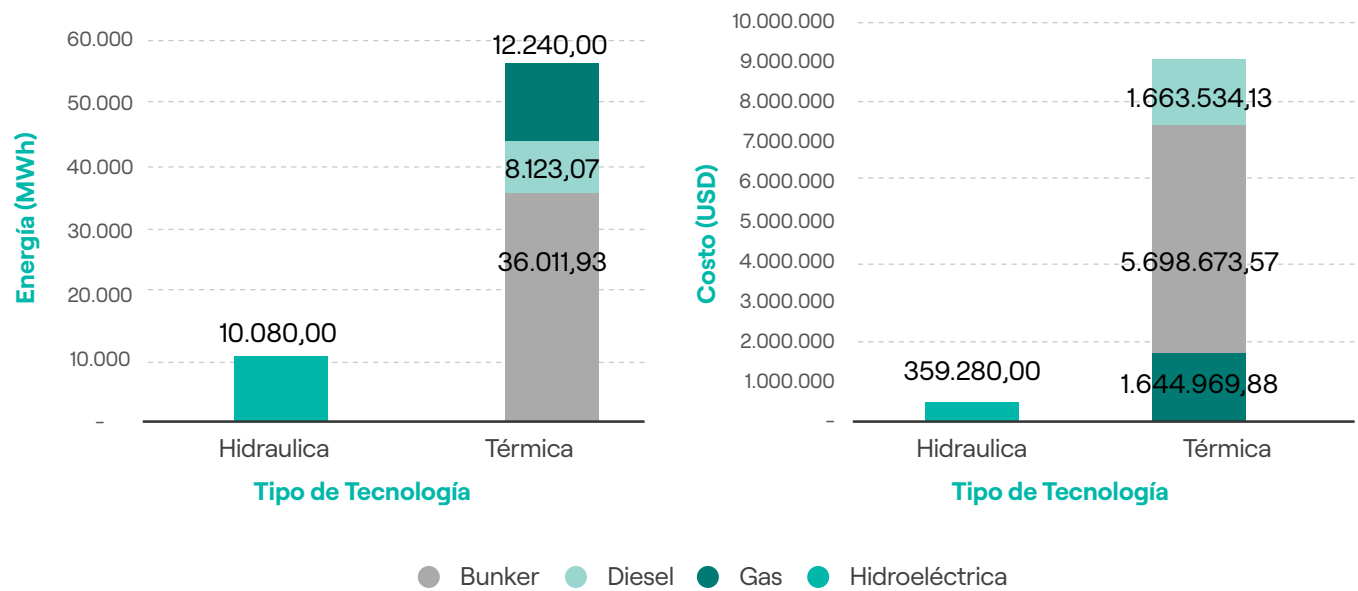


Figura Nro. 5.2: Solución óptima del frente de Pareto (2/2)



Como se observa en la Figura Nro. 5.3, las unidades hidráulicas y las térmicas a gas se despachan como unidades de base, mientras que las unidades térmicas a bunker y diésel ajustan su producción para cubrir la demanda, incluidas las pérdidas. Es relevante señalar que la mayor contribución energética proviene de las unidades térmicas que utilizan bunker, representando el 54% del total. Las unidades a diésel aportan un 12% y las hidroeléctricas un 15%. En cuanto a los costos, el total asciende a 9.366.457,58 USD, de los cuales el 68% corresponde a las unidades que emplean bunker, el 36% a la producción con diésel y gas, y el 4% restante se asocia a la generación hidroeléctrica.

Figura Nro. 5.3: Aporte energético y costos por tipo de tecnología



En el análisis de las emisiones, se obtienen los resultados que se muestran a continuación

Tabla Nro. 5.5: Resultados emisiones

	Emisiones (Ton CO <sub>2</sub> )	Porcentaje
Gas	88,28	12%
Bunker	453,04	61%
Diesel	183,28	25%
Total	724,60	

Finalmente, se realiza una comparativa entre los costos totales y la cantidad de emisiones para el caso en el cual solo se minimizan costos y el resultado obtenido como parte de la modelación. Los resultados se presentan en la tabla Nro. 5.6.

Tabla Nro. 5.6: Comparativa de costos y emisiones

	Emisiones (Ton CO <sub>2</sub> )	Costo (USD)
1r Caso	737,39	9.349.824,29
2do Caso	724,60	9.366.457,58
Variación	-12,79	16.633,29
%Variación	-1,7%	0,2%

De lo anterior se concluye que el modelo multiobjetivo genera un nuevo despacho en el cual, aunque incrementa el costo en un 0,2% respecto al despacho clásico, este cambio permite una reducción aproximada del 2% en las emisiones. Es decir, ese leve incremento en el costo resulta en una disminución aproximada de 10 veces en la cantidad de emisiones liberadas al ambiente. Este análisis se vuelve relevante cuando se incrementa la participación de unidades hidráulicas y energías renovables.

## 5.6 Conclusiones

Los resultados muestran que la optimización multiobjetivo depende de manera significativa de los parámetros asociados a las funciones objetivo, lo que resalta la importancia de determinar con precisión las funciones de entrada y salida en las unidades de generación que emplean combustibles fósiles. Asimismo, se confirma que establecer factores para evaluar las emisiones a nivel nacional es fundamental para la modelación y proporciona información clave para valorar adecuadamente los gases de efecto invernadero.

Al comparar el despacho basado en la minimización de costos con el modelado multiobjetivo, se observa



un aumento de aproximadamente 16.000 USD (0.2%) en los costos, acompañado con una reducción de 13 toneladas de CO<sub>2</sub> (2%). Este efecto podría ser aún más relevante con la implementación de generación renovable no convencional y tecnologías de generación térmica eficiente.

El análisis comparativo de emisiones evidencia que el modelo multiobjetivo asigna la potencia despachada considerando tanto factores económicos como ambientales. Esto resulta en un incremento del 4% en las emisiones de las unidades térmicas que utilizan bunker, pero también en una reducción del 6% en las que emplean diésel, logrando así una reducción global de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El modelo multiobjetivo de despacho, en comparación con el enfoque económico clásico, ofrece a los operadores de sistemas eléctricos una herramienta valiosa para tomar decisiones que consideren no solo la rentabilidad del sistema, sino también el impacto ambiental asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Finalmente, se concluye que la modelación multiobjetivo permite una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>; sin embargo, esta mejora conlleva un incremento en los costos del sistema. Para mitigar este impacto, es recomendable explorar alternativas como la implementación de créditos de carbono o la adopción de políticas que faciliten mecanismos de compensación capaces de contrarrestar el aumento de costos mencionado.

## 5.7 Referencias

- [1] C. Li, "Sustainable Computing : Informatics and Systems Multi-objective optimization of space adaptive division for environmental economic dispatch," *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, vol. 30, no. December 2020, p. 100500, 2021, doi: 10.1016/j.suscom.2020.100500.
- [2] X. Song, Y. Wang, Z. Zhang, C. Shen, and F. Peña-mora, "Economic-environmental equilibrium-based bi-level dispatch strategy towards integrated electricity and natural gas systems," *Appl. Energy*, vol. 281, no. October 2020, p. 116142, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116142.
- [3] J. Niquepa, "Metodología de Toma de Decisiones En Energización de Zonas no Interconectadas Considerando Fuentes Renovables Solar Fotovoltaica y Eólica," Tesis, 2018.
- [4] A. Carrillo-galvez, E. López, F. De Ciencias, M. Departamento, D. I. Matemática, and U. De Concepción, "A duality theory approach to the environmental / economic dispatch problem," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 184, no. March, p. 106285, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106285.
- [5] E. Gonçalves, A. Roberto, D. Nunes, L. Nepomuceno, E. Cássia, and E. Martins, "Electrical Power and Energy Systems Deterministic approach for solving multi-objective non-smooth Environmental and Economic dispatch problem," *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 104, no. June 2018, pp. 880–897, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.07.056.
- [6] X. Li, W. Wang, H. Wang, J. Wu, X. Fan, and Q. Xu, "Dynamic environmental economic dispatch of hybrid renewable energy systems based on tradable green certificates," *Energy*, vol. 193, p. 116699, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116699.
- [7] M. Basu, "Economic environmental dispatch of solar-wind-hydro-thermal power system," *Reinf. Plast.*, vol. 30, no. September, pp. 107–122, 2019, doi: 10.1016/j.ref.2019.04.002.
- [8] P. M. Joshi and H. K. Verma, "An improved TLBO based economic dispatch of power generation through distributed energy resources considering environmental constraints," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 18, p. 100207, 2019, doi: 10.1016/j.segan.2019.100207.
- [9] Alonso, M., Amarís, H., & Chindris, M. (2012). A multiobjective Var/Volt Management System in Smartgrids. *Energy Procedia*, 14, 1490–1495.
- [10] International Energy Agency, "Hydropower Special Market Report Analysis and forecast to 2030," Book, 2019.
- [11] MERNNR, "Plan Maestro de Electricidad 2019–2027," *Minist. Energía y Recur. No Renov.*, p. 390, 2019, [Online]. Available: <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>.

Autor



Santiago Espinosa

Magister en Eficiencia Energética

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER EL PERFIL DE LINKEDIN







# 06

CAPÍTULO

## Cifras del sector eléctrico

EDICIÓN 24 ▶ SEPTIEMBRE 2024

PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

# 06

## CAPÍTULO Cifras del sector eléctrico

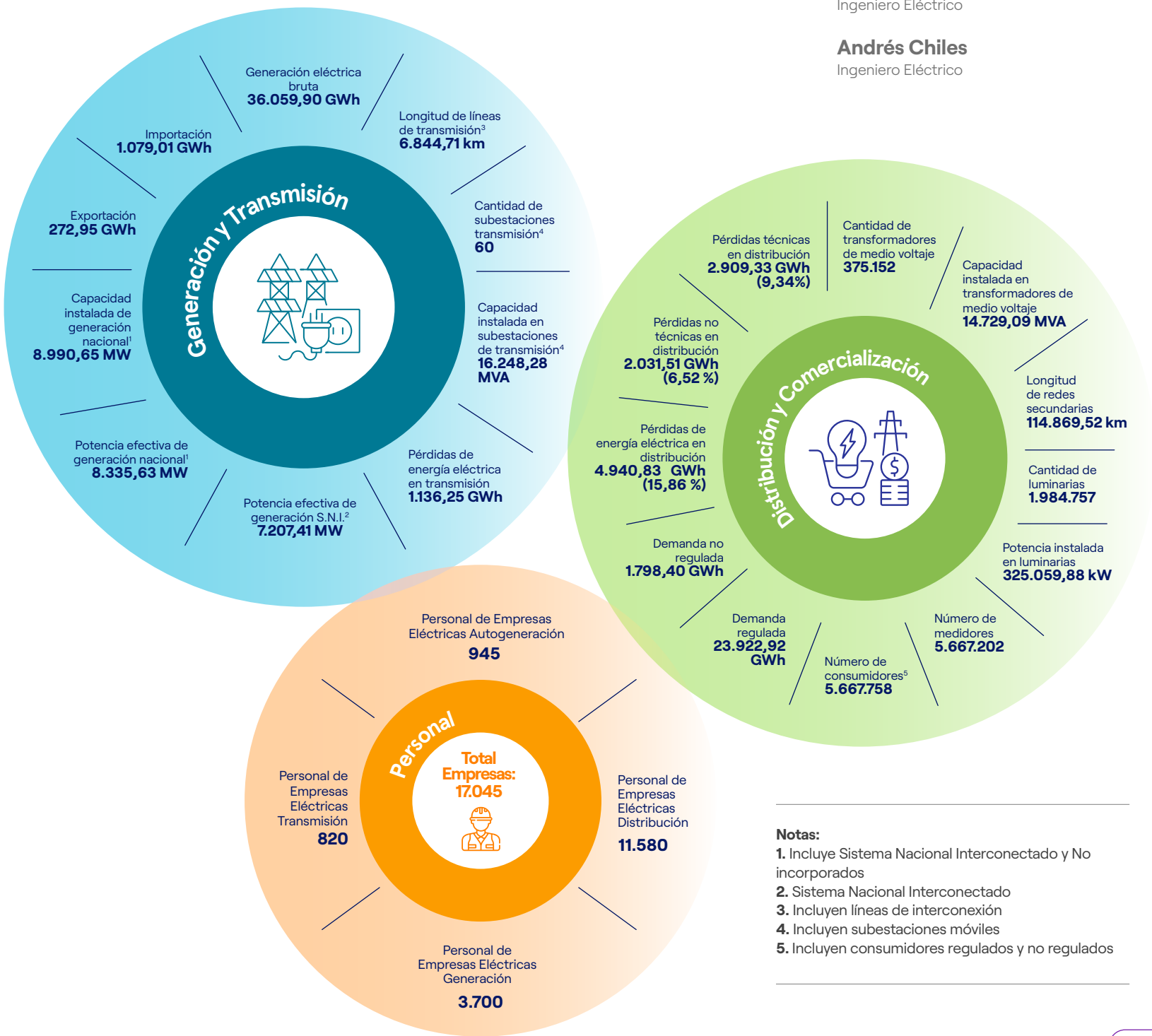
### 6.1 Cifras principales del sector eléctrico Junio 2024

**Andrea Torres**  
Magíster en Energías  
Renovables

**Christian Junia**  
Ingeniero Eléctrico

**Rodrigo Briones**  
Ingeniero Eléctrico

**Andrés Chiles**  
Ingeniero Eléctrico

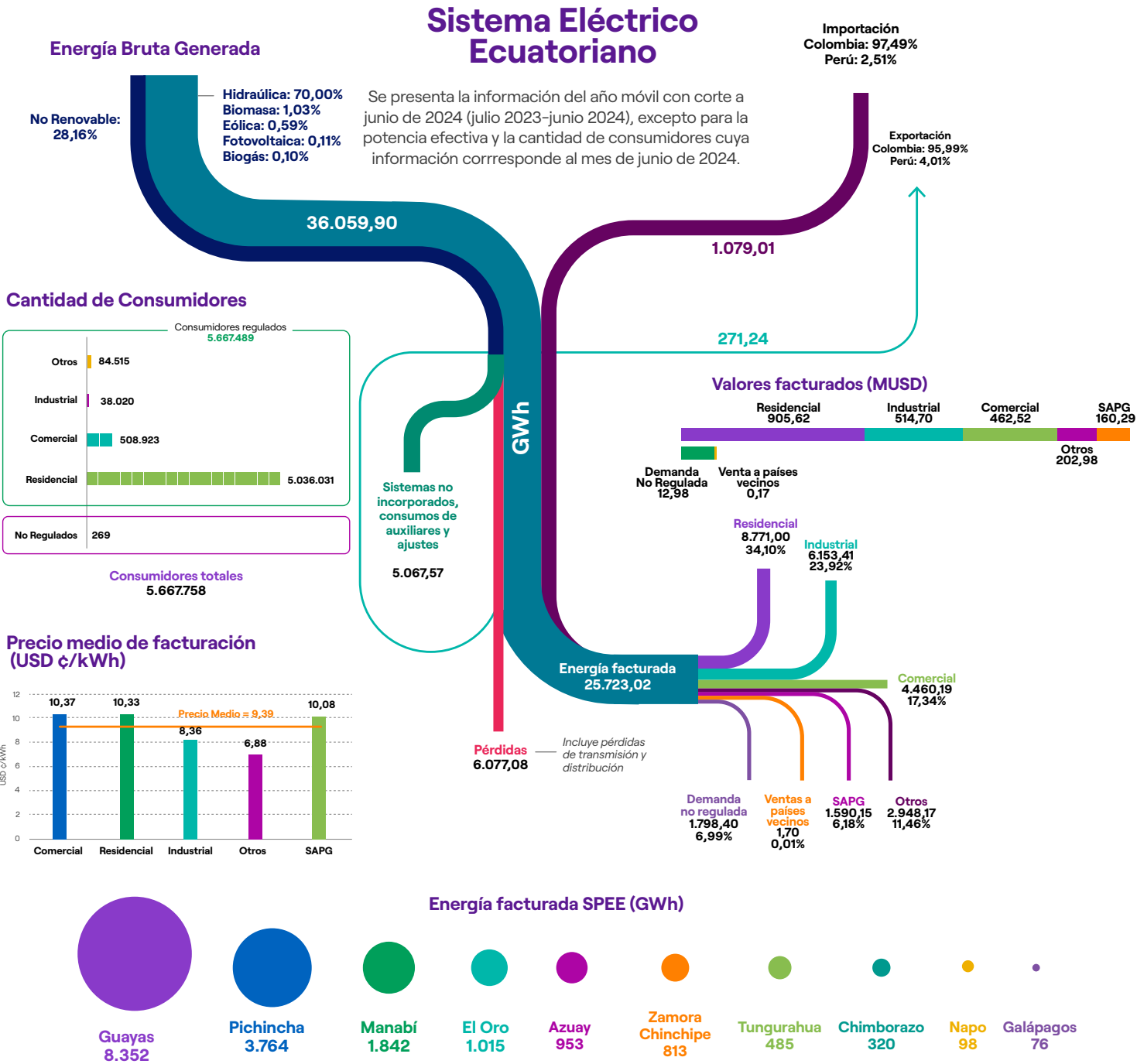
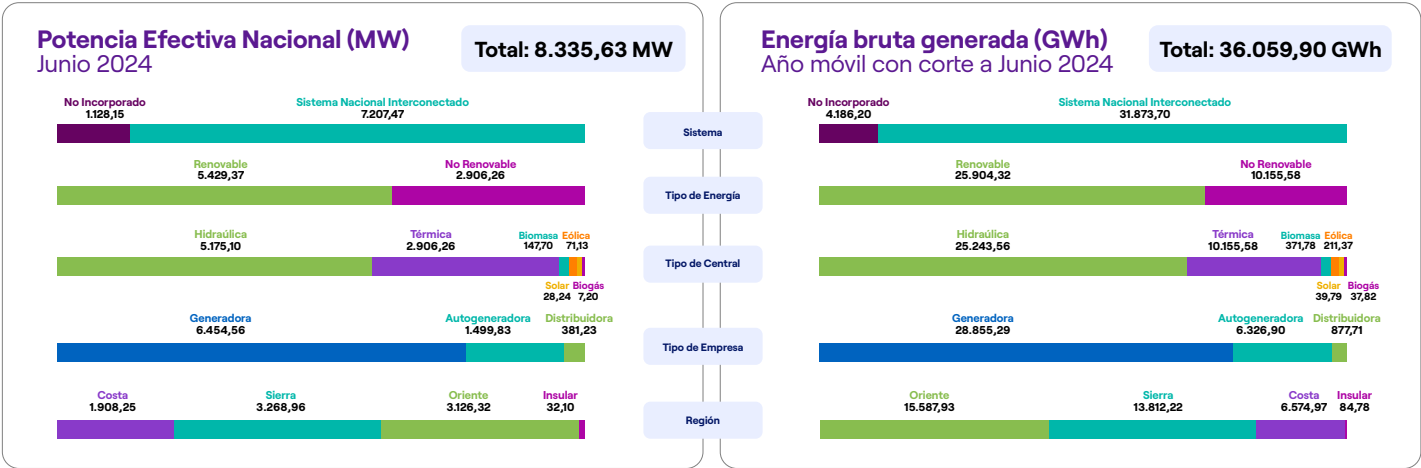


**Notas:**

- 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



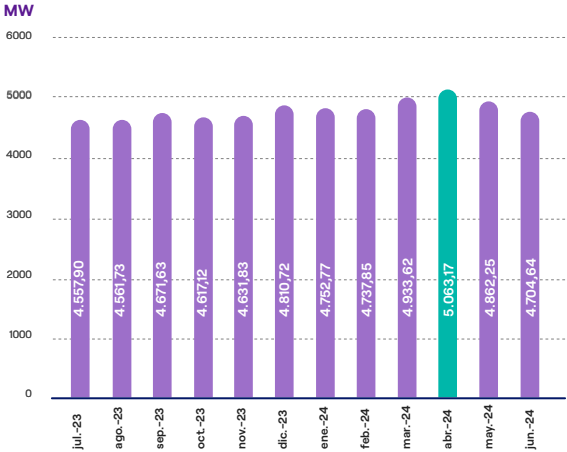
## 6.2 Potencia, producción de energía, consumos, facturación



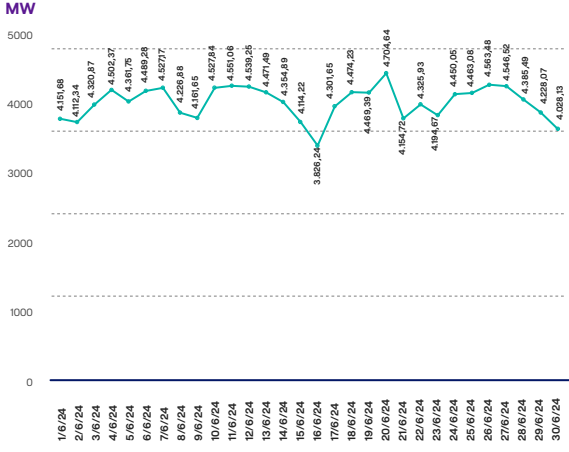
### 6.3 Demanda de energía en el Sistema Nacional Interconectado

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 junio 2024.

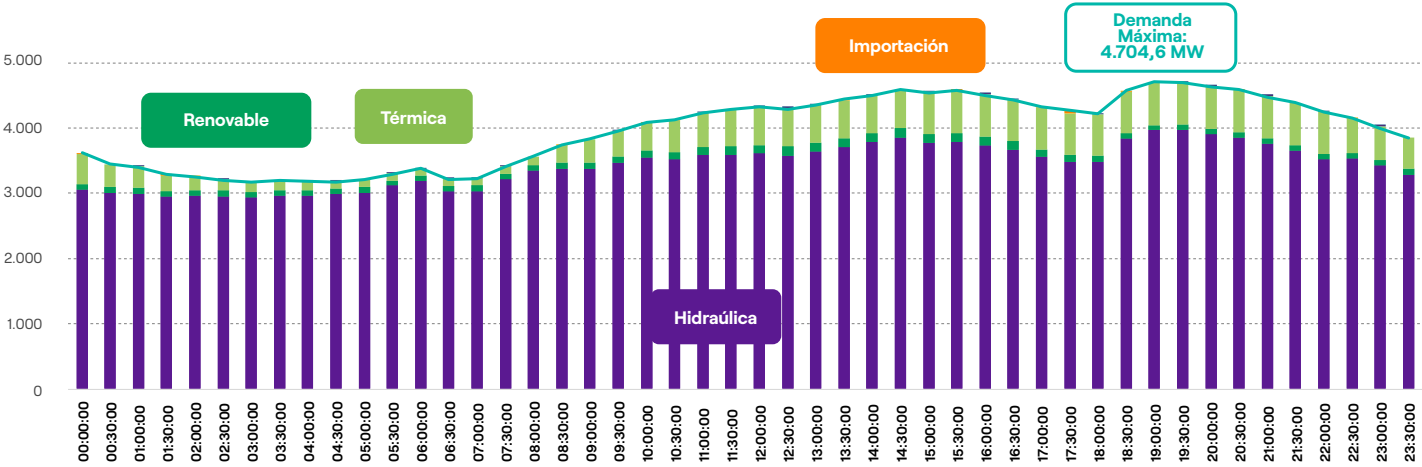
Demanda máxima mensual año móvil  
Jul 2023 - Jun 2024



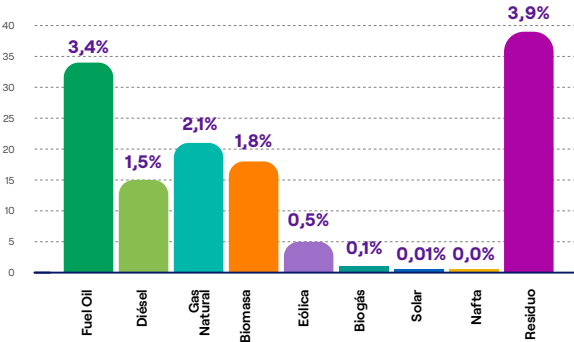
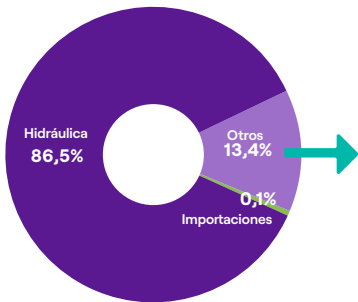
Demanda máxima diaria (MW)  
junio 2024



Curva de carga diaria 20 de junio de 2024



Curva de carga diaria 20 de junio de 2024



Empresas distribuidoras con mayor  
demanda de potencia (MW)

CNEL-EP Guayaquil: 979,68 MW

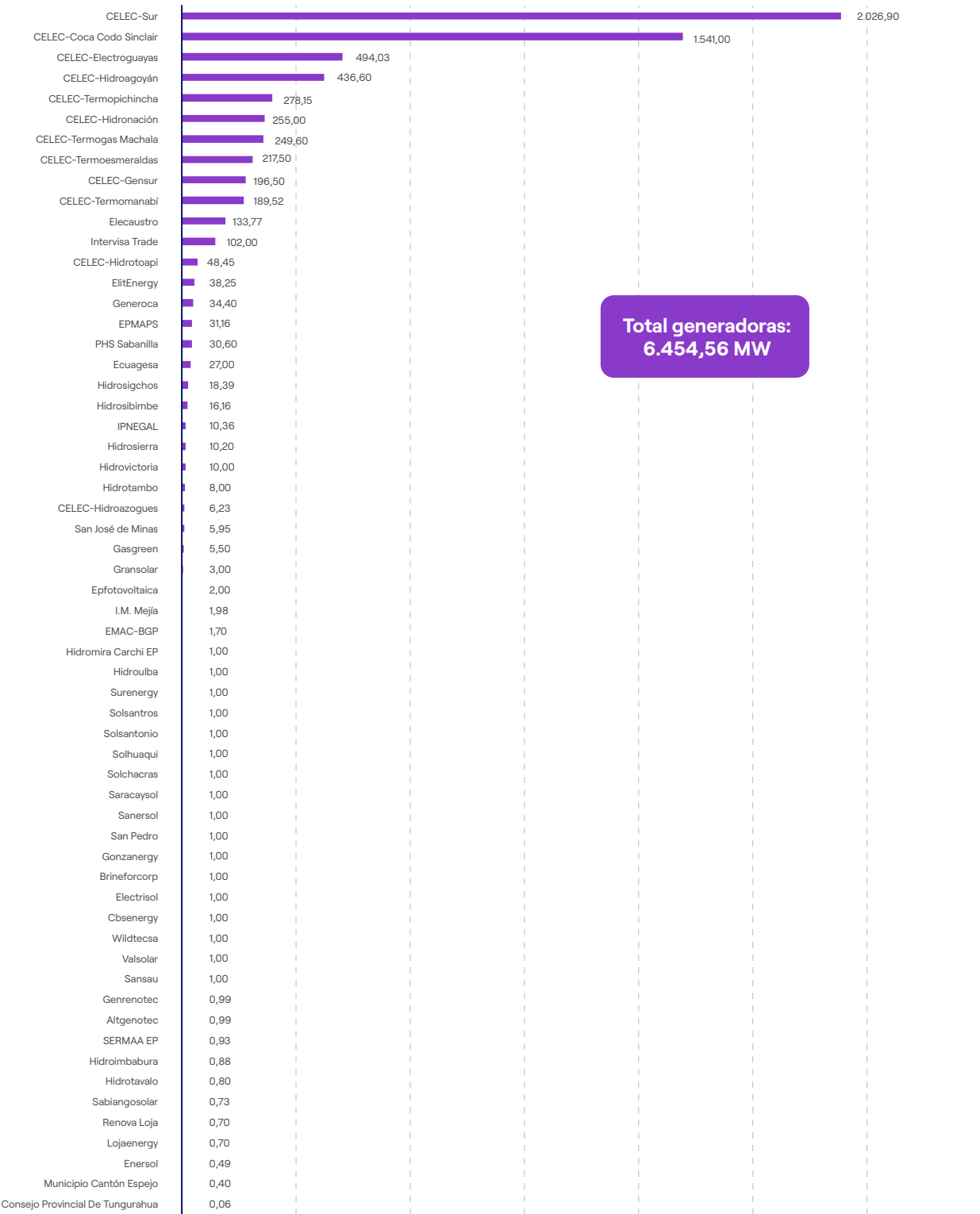
E.E. Quito: 755,87 MW

CNEL-Guayas Los Ríos: 486,39 MW

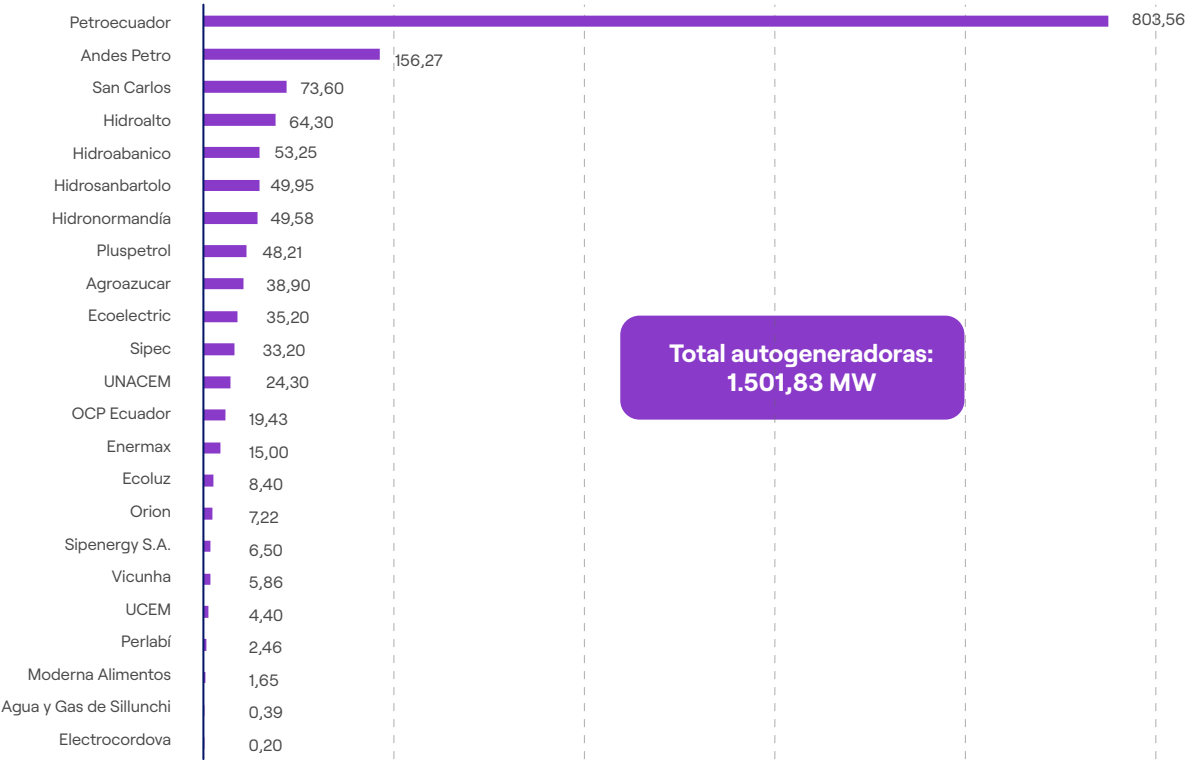
## 6.4 Cifras etapa de generación

Empresas de Generación, Autogeneración, Distribución y SGDAs  
Potencia Efectiva (MW)  
Junio 2024

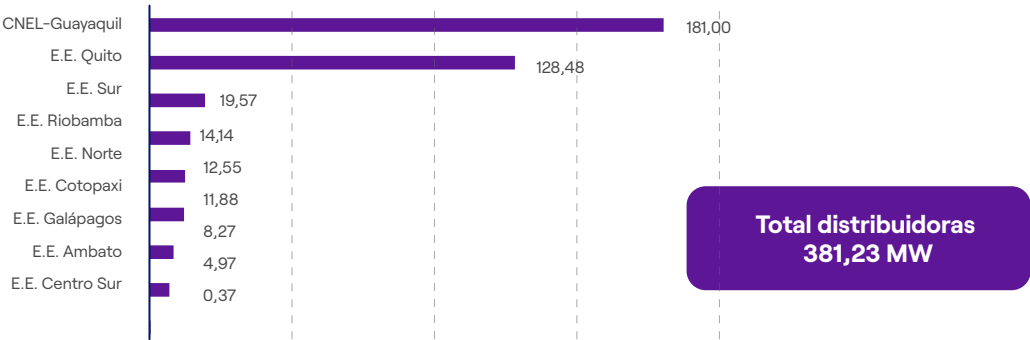
### Generadoras



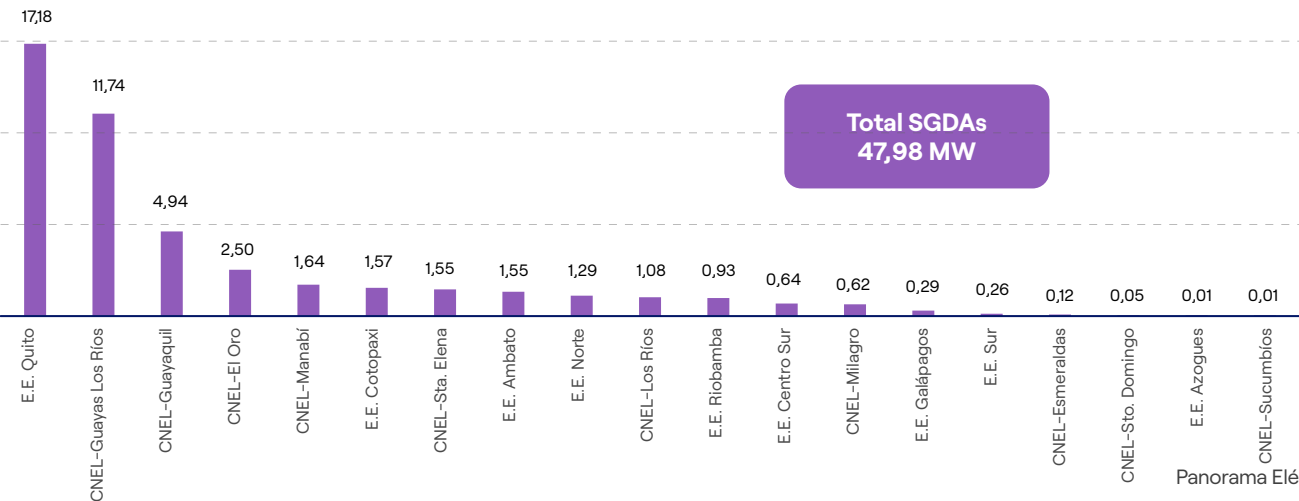
Autogeneradoras



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 Junio 2024

##### Líneas 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
Total Simple Circuito		72	4.382,01
Doble Circuito	138	15	530,38
	230	24	1.932,32
Total Doble Circuito		39	2.462,70
Total General		111	6.844,71

\* Incluyen líneas de interconexión con Colombia y Perú

##### Líneas 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
Total Simple Circuito			7,50	15,50
Doble Circuito	239	Machala - Zorritos	52,72	110,00
		Pimampiro - Jamondino 1	63,02	138,70
		Pimampiro - Jamondino 2	54,20	132,00
Total Doble Circuito			169,94	380,70

##### 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
Total	60	99	16.248,28




## 6.6 Cifras etapa de distribución

### Empresas de distribución y comercialización Junio 2024

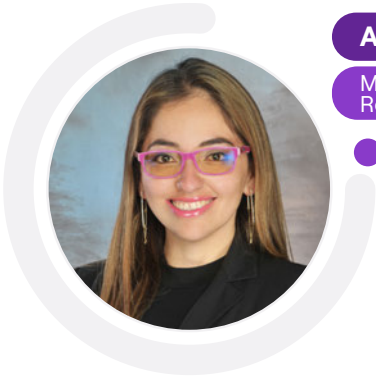
#### Infraestructura de Distribución

Empresa	 Media tensión	 Transformadores		 Baja tensión	 Luminarias		 Medidores
	km	#	MVA	km	#	kW	#
CNEL-Bolívar	3.384,88	6.550	101,38	3.658,06	28.805	4.744,36	72.294
CNEL-El Oro	5.861,38	16.172	729,26	3.899,33	104.075	19.334,61	278.353
CNEL-Esmeraldas	5.040,53	10.961	353,94	3.135,15	59.405	10.719,44	131.134
CNEL-Guayaquil	3.807,64	40.197	2.695,58	5.863,36	197.406	32.337,29	720.928
CNEL-Guayas Los Ríos	9.090,21	36.197	1.468,91	5.987,00	112.857	20.612,11	367.084
CNEL-Los Ríos	3.828,61	11.464	373,12	2.334,01	36.229	6.628,12	148.210
CNEL-Manabí	8.835,88	31.489	981,19	7.747,85	146.119	26.198,91	357.738
CNEL-Milagro	4.629,14	14.124	470,37	2.345,26	57.620	10.936,44	164.430
CNEL-Sta. Elena	1.622,76	8.456	389,69	1.633,04	45.805	8.472,36	106.528
CNEL-Sto. Domingo	10.409,56	25.596	534,00	6.878,58	94.083	16.663,72	274.416
CNEL-Sucumbíos	5.567,89	11.349	307,73	4.904,11	55.639	7.571,47	110.496
E.E. Ambato	6.369,05	17.822	492,68	9.038,06	158.798	22.959,94	311.197
E.E. Azogues	878,55	2.357	71,32	1.563,00	20.056	3.458,87	41.464
E.E. Centro Sur	11.004,37	29.262	953,19	13.666,71	184.365	33.671,32	443.346
E.E. Cotopaxi	4.606,01	11.099	333,69	6.317,32	67.415	10.054,16	155.584
E.E. Galápagos	371,84	1.322	47,44	277,83	6.728	802,17	14.695
E.E. Norte	6.648,28	19.861	566,22	7.724,35	134.616	19.588,18	274.216
E.E. Quito	9.417,43	44.614	3.129,57	11.413,05	313.237	49.439,06	1.271.011
E.E. Riobamba	4.611,81	15.481	318,75	5.770,76	82.805	11.043,52	191.404
E.E. Sur	8.883,69	20.779	411,07	5.910,57	78.694	9.823,82	232.674
Totales	114.869,52	375.152	14.729,09	110.067,39	1.984.757	325.059,88	5.667.202

Tipo de Consumidores por Empresa Eléctrica de Distribución

Empresa	Consumidores regulados				 Total regulados	 Total no regulados	 Total
	Residencial	Comercial	Industrial	Otros			
CNEL-Bolívar	66.995	3.729	115	1.474	72.313		72.313
CNEL-El Oro	255.166	18.855	1.548	3.820	279.389	2	279.391
CNEL-Esmeraldas	121.220	7.547	310	2.460	131.537	2	131.539
CNEL-Guayaquil	638.191	74.901	2.119	5.758	720.969	45	721.014
CNEL-Guayas Los Ríos	340.220	20.144	800	5.960	367.124	17	367.141
CNEL-Los Ríos	138.322	7.698	329	1.868	148.217	1	148.218
CNEL-Manabí	329.947	18.700	486	5.334	354.467	8	354.475
CNEL-Milagro	149.499	12.053	187	1.673	163.412	4	163.416
CNEL-Sta. Elena	96.354	6.707	158	1.751	104.970	2	104.972
CNEL-Sto. Domingo	243.579	27.147	290	3.414	274.430	4	274.434
CNEL-Sucumbíos	95.546	12.307	443	2.513	110.809		110.809
E.E. Ambato	268.972	30.586	6.039	5.671	311.268	6	311.274
E.E. Azogues	37.706	2.796	428	610	41.540	1	41.541
E.E. Centro Sur	396.889	38.110	4.835	7.045	446.879	9	446.888
E.E. Cotopaxi	137.852	12.262	3.217	2.327	155.658	3	155.661
E.E. Galápagos	11.529	2.436	181	565	14.711		14.711
E.E. Norte	238.944	28.548	2.635	3.564	273.691	6	273.697
E.E. Quito	1.096.225	145.149	12.011	18.431	1.271.816	158	1.271.974
E.E. Riobamba	167.737	19.689	658	3.316	191.400	1	191.401
E.E. Sur	205.138	19.559	1.231	6.961	232.889		232.889
Total	5.036.031	508.923	38.020	84.515	5.667.489	269	5.667.758

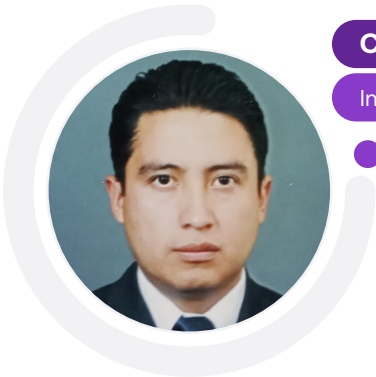
# 6.7 Autores



**Andrea Torres**

Magíster en Energías  
Renovables

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



**Christian Junia**

Ingeniero Eléctrico

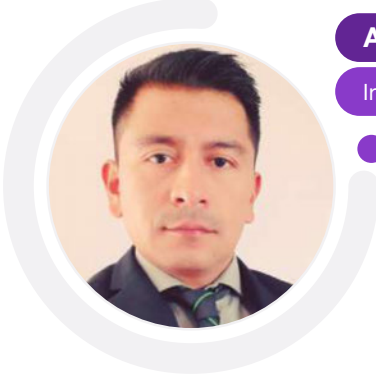
ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



**Rodrigo Briones**

Ingeniero Eléctrico

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN



**Andrés Chiles**

Ingeniero Eléctrico

ESCANEA EL CÓDIGO PARA VER  
EL PERFIL DE LINKEDIN





# CONSEJO EDITORIAL

## Editores



**MARISOL DÍAZ**

*Ing. Sistemas Informáticos*



**IVAN SÁNCHEZ**

*Mgs. Sistemas Eléctricos  
de Distribución*



**ANDREA TORRES**

*MSc. Energías Renovables*



**ANA VILLACÍS**

*MSc. Energías  
Renovables*



**SANTIAGO FLORES**

*Ing. Eléctrico*

### COORDINACIÓN GENERAL

Lenin Poma Jumbo  
Coordinador Nacional de  
Regulación Eléctrica

### DIRECCIÓN GENERAL

Angel Echeverría Zambrano  
Director Técnico de Estudios,  
Información e Innovación

### DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Sofía Andrade T.

### FOTOGRAFÍAS

E.E. Centrosur  
E.E. Sur  
E.E. Quito  
CELEC Gensur  
CNEL Santa Elena  
CNEL Manabí  
Ministerio de Turismo

### AUSPICIO

Banco Interamericano de Desarrollo – BID



### CITAR ESTE DOCUMENTO COMO

Panorama Eléctrico, Edición 24  
Quito – Ecuador, septiembre 2024  
Todos los derechos reservados





Panorámica Loja - Loja  
E.E. Sur



Técnicos en Punta Blanca - Santa Elena  
CNEL Santa Elena



Piquero patas azules - Galápagos  
Ministerio de Turismo



Centro Histórico de Quito - Pichincha  
E.E. Quito



Subestación Chone - Manabí  
CNEL Manabí



Trabajo de linieros energizados - Quito  
E.E. Quito

PANORAMA  
**ELÉCTRICO**  
2024

[www.controlelectrico.gob.ec](http://www.controlelectrico.gob.ec)

**Agencia de Regulación y Control  
de Electricidad**

