



Universidad  
Nacional  
Villa María

Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo A. Podestá"  
Repositorio Institucional

# Evaluación y comparación de diversas fuentes de generación de energía eléctrica para uso residencial

---

---

Año  
2025

Autor  
Ricci, Marco

Directores de tesis  
Giménez Yob, Guillermo y Maldonado, Marina Luciana

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María**.

#### CITA SUGERIDA

Ricci, M. (2025). *Evaluación y comparación de diversas fuentes de generación de energía eléctrica para uso residencial*. [Trabajo final de grado, Universidad Nacional Villa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Villa María.  
[http://biblio.unvm.edu.ar/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=48734](http://biblio.unvm.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=48734)



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional



**Universidad Nacional de Villa María**

**Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas**

**Trabajo Final de Grado para optar al título de Licenciado  
en Ambiente y Energías Renovables**

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE  
DIVERSAS FUENTES DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO  
RESIDENCIAL**

**AUTOR:**

**Ricci, Marco**

**DIRECTOR**

**Guillermo Giménez Yob**

**CODIRECTORA**

**Marina Luciana Maldonado**

**Villa María, Córdoba**

**Diciembre 2025**

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE DIVERSAS FUENTES DE  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA USO  
RESIDENCIAL**



## **AGRADECIMIENTOS**

Llegar hasta aquí ha sido un camino de esfuerzo, dedicación y perseverancia, pero, sobre todo, ha sido un recorrido acompañado por personas que han dejado una huella imborrable en mi vida.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento. Gracias a ellos pude venir desde lejos a cumplir este gran objetivo de convertirme en licenciado. Sin su respaldo, amor y confianza, nada de esto hubiese sido posible.

A mis amigos y compañeros de esta hermosa carrera, con quienes compartí incontables momentos de aprendizaje y crecimiento. Hoy este ciclo llega a su fin, pero sé que nuestra amistad perdurará más allá del tiempo y la distancia. Gracias por ser un sostén fundamental en este camino.

A mi novia y compañera, Flor, quien fue un pilar fundamental en todo este proceso. Mientras iniciaba mi vida laboral, ella estuvo siempre allí, impulsándome a seguir adelante con la tesis y motivándome a terminarla con determinación. Su apoyo emocional y sus consejos fueron clave en la toma de decisiones que, sin ella, me habrían llevado meses resolver.

A mi codirectora, Lucy, por su dedicación, compromiso y profesionalismo. Su guía fue fundamental para llevar adelante este trabajo, incluso en aspectos que trascendían su área de conocimiento. Su acompañamiento fue invaluable en cada etapa del proceso.

A la Universidad Nacional de Villa María, por haber sido el espacio que me acogió y formó a lo largo de estos años. A todos los profesores que dejaron su huella en mi aprendizaje y contribuyeron a mi formación profesional.

A Héctor Giménez, por su orientación y ayuda en momentos de incertidumbre, guiándome en la elección del lugar de estudio y brindándome su conocimiento. A Eduardo Hernández, uno de los fundadores del sitio de estudio, por compartir conmigo la historia del lugar y su evolución a lo largo del tiempo.

A todo el equipo de la Asociación El Talita Firmat Fútbol Club, quienes con gran predisposición me escucharon y me brindaron información sobre este espacio tan significativo. A Juani, por sus largas charlas y explicaciones sobre el funcionamiento de diversos sistemas renovables, enriqueciendo aún más mi conocimiento.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra forma, estuvieron presentes y me acompañaron en este proceso. Cada gesto de apoyo, cada palabra de aliento y cada enseñanza han sido parte fundamental en la concreción de este sueño.

A todos, infinitas gracias.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....  | 11 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....  | 13 |
| 2.1 ENERGÍA.....   | 13 |
| 2.1.1 Matriz Energética Mundial.....   | 14 |
| 2.1.2 Matriz Energética Nacional .....   | 17 |
| 2.1.3 Energías Convencionales .....  | 19 |
| 2.1.4 Energías Renovables .....  | 20 |
| 2.1.4.1 Energía Solar.....   | 21 |
| 2.1.4.2 Tecnología Solar Fotovoltaica.....   | 22 |
| 2.1.4.3 Energía Hidráulica .....   | 23 |
| 2.1.4.4 Tecnología Hidráulica .....  | 24 |
| 2.1.5 Almacenamiento.....  | 26 |
| 2.1.6 Eficiencia Energética .....  | 26 |
| 2.1.7 Autonomía Energética y Beneficios Sociales.....                                    | 30 |
| 3. OBJETIVOS.....  | 32 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL.....   | 32 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....  | 32 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS .....  | 33 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDIO.....   | 33 |
| 4.2 METODOLOGÍA.....   | 35 |
| 5. MARCO LEGAL .....   | 39 |
| 6. IMPACTO AMBIENTAL.....  | 40 |
| 6.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA .....                                     | 41 |
| 6.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA SOLAR .....  | 41 |
| 6.3 IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE GRUPO ELECTRÓGENO.....                               | 42 |
| 7. RESULTADOS.....   | 42 |
| 7.1. DEMANDA ENERGÉTICA DEL COMPLEJO.....  | 42 |
| 7.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LAS FUENTES RENOVABLES .....                     | 43 |
| 7.2.1. Cálculo de caudal del río El Talita.....  | 43 |
| 7.2.2. Cálculo de la energía hidráulica .....  | 45 |
| 7.2.3 Determinación de los coeficientes hidráulicos y eficiencia de la rueda.....        | 47 |
| 7.2.4. Cálculo de energía solar .....  | 48 |
| 7.2.5. Cálculo de energía total.....   | 50 |
| 7.2.6. Cálculo de la capacidad de almacenamiento del banco de baterías .....             | 50 |
| 7.3. COMPARACIÓN DE LAS FUENTES EN CUANTO A SU VIABILIDAD ECONÓMICA Y<br>ENERGÉTICA..... | 52 |
| 8. CONCLUSIONES .....  | 54 |
| 9. CONSIDERACIONES FINALES.....  | 55 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA.....  | 57 |
| 11. ANEXOS.....  | 60 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Matrices energética primaria y secundaria nivel global.....  | 17 |
| <b>Figura 2:</b> Balance energético nacional 2019-2020. Informe anual 2020.....   | 17 |
| <b>Figura 3:</b> Participación de las energías renovables en la matriz energética en Argentina (2020) ..                      | 18 |
| <b>Figura 4:</b> Ciclo de eficiencia energética .....   | 28 |
| <b>Figura 5:</b> Objetivos y metas del Plan de Eficiencia Energética Argentina.....   | 29 |
| <b>Figura 6:</b> Participación de los sectores en el consumo final 2018.....  | 29 |
| <b>Figura 7:</b> Ubicación de la cuenca hidrográfica del río El Talita, Alpa Corral, Córdoba.....                             | 34 |
| <b>Figura 8:</b> Ubicación del sitio de estudio. Alpa Corral (Córdoba).....   | 34 |
| <b>Figura 9:</b> Sistema de baterías del complejo habitacional.....   | 38 |
| <b>Figura 10:</b> Perfil transversal y fotografías de la sección de aforo (AF1) del río El Talita.....                        | 44 |
| <b>Figura 11:</b> Ubicación de rueda hidráulica, el micro embalse y los saltos de agua. Punto de sección del aforo (AF1)..... | 46 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1:</b> Diferentes tipos de fuentes de energía.....   | 15 |
| <b>Tabla 2:</b> Beneficios de la matriz energética diversificada.....                                     | 16 |
| <b>Tabla 3:</b> Capacidad instalada de la matriz energética en Argentina y países limítrofes (2020) ..... | 19 |
| <b>Tabla 4:</b> Potencia y generación de energía a partir de fuentes renovables en Argentina.....         | 19 |
| <b>Tabla 5:</b> Consumo energético del complejo habitacional. ....  | 43 |
| <b>Tabla 6:</b> Datos de seccion de aforo (AF1) realizado por el tesista.....                             | 44 |
| <b>Tabla 7:</b> Datos de aforo medidos en el rio El Talita.....   | 45 |
| <b>Tabla 8:</b> Energía producida por la rueda hidráulica.....  | 48 |
| <b>Tabla 9:</b> Comparación técnica de las fuentes de energía renovable y no renovable.....               | 53 |
| <b>Tabla 10:</b> Comparación económica de los sistemas energéticos. ....                                  | 54 |

## **ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS**

**BEN:** Balance Energético Nacional

**CAMMESA:** Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico

**EE:** Eficiencia Energética

**INDEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos

**IPE:** Índice de Prestaciones Energéticas

**ME:** Matriz Energética

**PyMEs:** Pequeñas y Medianas Empresas

**IRENA:** Agencia Internacional de las Energías Renovables

**E.E.R.R.:** Energías Renovables

**U.E:** Unión Europea

**IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

**PlaNEEAR:** Plan Nacional de Eficiencia Energética

**HED:** Horas equivalente día

**HSP:** horas de sol pico

**CA:** Corriente Alterna

**CC:** Corriente Continua

## **INDICE DE UNIDADES DE MEDIDA**

**°C:** Grado Celsius

**Cm:** Centímetro

**GWh:** Gigavatio hora

**hPA:** Hectopascal

**kcal/h:** Kilocaloría/hora

**kW:** Kilovatio

**kWh:** Kilovatio hora

**kWh/m<sup>2</sup>:** Kilovatio hora/metro cuadrado

**L:** Litro

**m:** Metro

**m<sup>2</sup>:** Metro cuadrado

**m<sup>3</sup>:** Metro cúbico

**Mm:** Milímetro

**MW:** Megavatio

**MWh:** Megavatio hora

**TEP:** Toneladas Equivalentes de Petróleo

**W/K:** Vatio / Kelvin

**W/m<sup>2</sup>K:** Vatio/metro cuadrado Kelvin

## Resumen

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial en las actividades humanas. La Matriz Energética Argentina y mundial está conformada principalmente por el uso de fuentes no renovables (petróleo, carbón y gas natural) y en menor proporción las renovables (fotovoltaica, hidráulica, eólica y biomasa). Actualmente, dentro de las energías renovables en el territorio nacional, la más utilizada es la energía eólica, que predomina debido a su capacidad para generar grandes cantidades de energía en forma constante y eficiente, Además de tener bajas emisiones de gases contaminantes. En segundo lugar, se ubica la energía solar fotovoltaica, seguida por la hidráulica, aunque esta última solo se considera una fuente renovable cuando se trata de centrales hidroeléctricas con una potencia instalada igual o inferior a 50 MW.

El presente Trabajo Final de Grado tiene como finalidad evaluar y comparar la producción de energía proveniente de diversas fuentes renovables para abastecer un complejo habitacional ubicado en una zona rural de la localidad de Alpa corral, sin acceso a la red eléctrica: El Talita. La metodología empleada consistió en un análisis técnico del consumo energético del complejo, a partir de la estimación de la demanda diaria y estacional. Posteriormente, se caracterizaron los recursos naturales disponibles en la zona, principalmente la radiación solar y el caudal del arroyo cercano. Con esta información se realizó el dimensionamiento de un sistema híbrido compuesto por paneles solares fotovoltaicos y una rueda hidráulica de baja potencia. Se realizaron cálculos para estimar la generación energética de cada fuente, así como la capacidad de almacenamiento requerida y el grado de autonomía del sistema. Finalmente, se analizaron los costos asociados a cada configuración para evaluar su viabilidad económica. Los resultados mostraron que el sistema híbrido propuesto es capaz de cubrir de manera eficiente la demanda energética del complejo El Talita durante todo el año. La combinación de energía solar e hidráulica permite optimizar la generación y reducir significativamente el tamaño del banco de baterías necesario, lo que se traduce en una menor inversión inicial y una mayor autonomía operativa. Se observó también que la energía solar tiene un mayor rendimiento en verano y la rueda hidráulica compensa la baja generación solar en los meses de menor radiación, estabilizando el sistema. En conclusión, se comprobó que un diseño adecuado basado en fuentes renovables locales puede garantizar el abastecimiento energético de una vivienda rural sin depender de combustibles fósiles ni de la red eléctrica convencional. Este tipo de soluciones contribuye a mejorar la calidad de vida en zonas aisladas, reduce el impacto ambiental y promueve un modelo de desarrollo más sustentable. No obstante, si se considera contar con tres días de autonomía energética sin generación, el sistema, en su configuración actual, no resulta suficiente. Para alcanzar dicho nivel de autonomía, sería necesario ampliar la capacidad de almacenamiento o incrementar la generación energética del sistema híbrido.

**Palabras claves:** Energías renovables, energía fotovoltaica, energía hidráulica, autonomía energética, sustentabilidad.

## **ABSTRACT**

Energy is part of all life cycles and is an essential element in human activities. The Argentine and global energy matrix is mainly composed of non-renewable sources (oil, coal, and natural gas), with a smaller share of renewable sources (photovoltaic, hydro, wind, and biomass). Among renewable energies, hydro and photovoltaic power are the most commonly used. The former is valued for its ability to generate large amounts of energy consistently and efficiently, with low greenhouse gas emissions. The latter is favored due to the unlimited availability of sunlight, low cost, and minimal maintenance. This Final Degree Project aims to evaluate and compare energy production from various renewable sources to supply a housing complex located in a rural area of Alpa Corral, without access to the electrical grid: El Talita. The methodology involved a technical analysis of the complex's energy consumption, based on the estimation of daily and seasonal demand. Subsequently, the available natural resources in the area were characterized, focusing mainly on solar radiation and the flow rate of a nearby stream. Based on this information, a hybrid system was designed, consisting of photovoltaic solar panels and a low-power hydraulic wheel. Calculations were carried out to estimate the energy generation from each source, the required storage capacity, and the system's degree of autonomy. Finally, the costs associated with each configuration were analyzed to assess their economic feasibility. The results showed that the proposed hybrid system is capable of efficiently meeting the energy demand of the El Talita complex throughout the year. The combination of solar and hydraulic energy allows for optimized generation and significantly reduces the size of the required battery bank, resulting in a lower initial investment and greater operational autonomy. It was also observed that solar energy performs better in summer, while the hydraulic wheel compensates for the lower solar generation during months with less sunlight, helping to stabilize the system. In conclusion, it was confirmed that a well-designed system based on local renewable resources can ensure the energy supply of a rural household without relying on fossil fuels or the conventional electrical grid. This type of solution contributes to improving the quality of life in remote areas, reduces environmental impact, and promotes a more sustainable development model. However, if the goal is to achieve three days of energy autonomy without generation, the system, in its current configuration, is not sufficient. To reach this level of autonomy, it would be necessary to expand the storage capacity or increase the energy generation of the hybrid system.

**KEY WORDS:** Renewable energy, Photovoltaic solar energy, Hydropower, Energy autonomy, Sustainability.

## **HISTORIA DEL LUGAR**

### **BREVE RESEÑA DE LA COLONIA EL TALITA**

El Talita es una colonia recreativa y de descanso del Firmat Foot Ball Club (FFBC), ubicada en la localidad de Alpa Corral, provincia de Córdoba, a pocos kilómetros de la ciudad de Río Cuarto. Se emplaza en una zona serrana, de topografía ondulada, vegetación autóctona y cursos de agua permanente, lo que favorece tanto la recreación como el desarrollo de actividades vinculadas al turismo de naturaleza. La altitud, el microclima y la disponibilidad hídrica son factores claves que han incidido en la elección del sitio.

El predio posee una superficie total de 4,5 hectáreas, actualmente forestadas con especies diversas que contribuyen al control de la erosión, el sombreado natural y la regulación térmica. El acceso al agua se garantiza a través de una represa construida en 1962 sobre un arroyo estacional, ubicada en la parte baja del terreno, lo que permite la acumulación gravitacional y su posterior distribución mediante una pequeña turbina hidráulica, instalada y puesta en funcionamiento por el socio Primo Giordano, que mejora la autonomía hídrica del complejo. En cuanto a infraestructura edilicia, el establecimiento dispone de cuatro habitaciones con capacidad para cinco personas cada una, y una cabaña adicional con espacio para siete, totalizando 27 plazas bajo techo. Las construcciones fueron realizadas de forma progresiva, destacándose la primera estructura levantada en 1961: un galpón de 15 x 8 metros, hoy reconvertido en cochera. El sistema constructivo adoptado fue tradicional (mampostería), con materiales adquiridos mediante campañas internas de financiamiento como la denominada "Campaña del Ladrillo".

La colonia cuenta con un sistema de caminos internos, redes eléctricas de baja tensión, instalación sanitaria básica y áreas comunes de uso múltiple (comedor, cocina, espacios verdes). El terreno, en su momento loteado, fue adquirido y parcialmente donado por su anterior propietario, Telésforo García, totalizando una superficie de 45.000 m<sup>2</sup>.

Cabe destacar que, al momento de su fundación, la zona carecía de asentamientos permanentes y servicios urbanos, situación que exigió un gran esfuerzo de organización y logística por parte de los socios fundadores del club. A través del tiempo, la presencia del FFBC en el lugar contribuyó indirectamente al desarrollo local, promoviendo el uso recreativo del entorno y la conservación ambiental mediante prácticas de mantenimiento sostenible.

Actualmente, la colonia El Talita representa un ejemplo de infraestructura rural comunitaria, concebida desde una visión integradora de recreación, naturaleza y pertenencia institucional. Su funcionamiento se mantiene gracias al compromiso sostenido de los socios, y está abierta a la visita de miembros del club y sus invitados, bajo condiciones de reserva y uso responsable del espacio.

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. Ella es esencial para casi todos los procesos que ocurren en el universo, y es la que permite que las cosas sucedan. Es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas). La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo. Ya sea de la transformación de energía química para brindarle energía a las células, como también el aprovechamiento de energía cinética, potencial, nuclear, térmica, y otras más, para transformarlas en energía eléctrica para el uso más frecuente por la población (Halliday *et al.*, 2013). Actualmente, la Matriz Energética (ME) Argentina y mundial, está conformada principalmente por fuentes no renovables, como petróleo, carbón y gas natural. Para aquellos que desconocen, la ME representa la cantidad de energía disponible en un lugar. Es decir, sirve de guía para que el sector energético planifique actividades relacionadas con la innovación, la producción, el transporte y las ventas. La energía es un elemento central del desarrollo y posibilita el surgimiento de nuevas industrias que constituyen el motor de la creación de empleo, el crecimiento inclusivo y la prosperidad compartida de economías enteras. Pero esta energía también tiene una gran importancia de donde proviene y lo que se busca es la transición de la matriz actual a una más segura y menos dañina con el ambiente. Es por esto que hay un notable crecimiento de interés por las energías renovables y se debe a que estas fuentes energéticas contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como las emisiones de otros contaminantes locales, permiten disminuir la dependencia energética y contribuyen a la creación de empleo y al desarrollo tecnológico (Cerdá *et al.*, 2012).

La integración de energías renovables en la matriz energética también contribuye a una mayor confiabilidad. La combinación de distintas fuentes renovables, junto con avances en tecnologías de almacenamiento y redes inteligentes, permite una producción de energía más estable y continua. Esto es especialmente cierto para fuentes como la solar y eólica, cuya intermitencia puede ser gestionada de manera eficiente con almacenamiento de energía o con la integración de otras fuentes renovables complementarias (Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Energy Outlook, 2020).

Dentro de las energías renovables la fotovoltaica, la hidráulica y eólica son las más utilizadas a nivel mundial, debido a varias razones claves, tanto tecnológicas como económicas y ambientales. La energía hidráulica es ampliamente utilizada por su capacidad de generar grandes cantidades de energía de manera constante y eficiente y por su baja emisión de gases contaminantes. Es ideal para países con recursos hídricos abundantes y ha sido la fuente de energía renovable dominante durante décadas.

Por otro lado, la energía fotovoltaica se ha convertido en una de las fuentes renovables más populares debido a la disponibilidad ilimitada de la luz solar, su bajo costo, casi nulo mantenimiento y la capacidad de expansión rápida. Además, las mejoras tecnológicas constantes y la caída de los

precios de los paneles solares hacen que la energía fotovoltaica sea cada vez más accesible y competitiva.

Ambas tecnologías contribuyen significativamente a la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible, y su combinación en muchos lugares del mundo ayuda a asegurar un suministro de energía más confiable y seguro (Cerdá *et al.*, 2012). A diferencia de otros lugares del mundo, el territorio argentino posee una gran cantidad de sistemas hídricos que son aprovechados para la generación de este tipo de energía abasteciendo a grandes ciudades. Como ejemplos latinoamericanos, se encuentra la central Hidroeléctrica de Itaipú Binacional, sobre el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Paraguay, que actualmente suministra alrededor del 16% de la energía consumida en Brasil y el 76% del consumo paraguayo. Otro ejemplo es la central hidroeléctrica Yacyreta que abastece a Argentina en un 10% de la demanda energética del territorio nacional.

En la provincia de Córdoba drenan el territorio 5 ríos principales: el río Suquía (Primero), el río Xanaes (Segundo), el río Ctalamochita (Tercero), el río Chocancharava (Cuarto) y el río Popopis (Quinto). En todos ellos, en el sector de sus cuencas altas hay instalados sistemas de presas hídricas o diques a gran escala, cuya función es el abastecimiento de agua y energía a las ciudades con mayor cantidad de habitantes y en algunos casos, también, la regulación de crecidas. Con el crecimiento poblacional y el traslado de una parte de ésta hacia lugares más seguros y tranquilos, rodeados de naturaleza, aparece una problemática energética referida a los servicios básicos para cubrir las necesidades habitacionales. Esto obliga a los propietarios a encontrar una solución que recaer en el uso de tecnologías modernas capaces de cumplir con lo requerido. Aquellas viviendas que se encuentran en cercanías a un río tienen la posibilidad de compensar esta necesidad produciendo energía eléctrica limpia a través de sistemas hidráulicos instalados en los cursos de agua cercanos.

Este trabajo tiene como finalidad evaluar y comparar diversas fuentes de generación de energía eléctrica destinadas al abastecimiento residencial, mediante el análisis de la viabilidad técnica y económica de dos alternativas renovables: un sistema hidráulico y uno solar. El estudio se desarrolla en el contexto de un complejo habitacional perteneciente a un club de fútbol de la ciudad de Firmat (Santa Fe), ubicado a orillas del río El Talita, en la localidad serrana de Alpa Corral, provincia de Córdoba.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ENERGÍA

El concepto de energía es muy amplio, ya que posee muchas definiciones, pero en esta ocasión se hace referencia desde el punto de vista de las ciencias físicas. Energía es aquello que se suministra o resta a un sistema material para moverlo o transformarlo. Las personas usan la energía a partir de distintas fuentes, pero sobre todo a través de vectores energéticos que median entre las fuentes y dicho uso. Los vectores que utiliza la sociedad contemporánea son básicamente calor, electricidad y combustibles procesados. Para obtenerlos a partir de las fuentes primarias, muchas veces se usan otros vectores. Además, hay cadenas de vectores en los que unos se transforman en otros (Fernández Durán y González Reyes, 2014).

Para la física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Históricamente, las personas han utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero, apelaban a su propia fuerza física o la de los animales domésticos, luego la energía del viento y del agua. Más tarde, llegaría la explotación de los combustibles fósiles, como el carbón, gas natural y petróleo, la de la energía nuclear y posterior las distintas fuentes de energías renovables (Merino, 2012).

Entre las distintas fuentes de energía, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. Las fuentes de energía renovables consideradas son la eólica, la solar térmica y fotovoltaica, la biomasa y los biocarburantes, la hidráulica (minihidráulica), la geotérmica y las energías procedentes del mar (Merino, 2012).

La idea de producir energía a partir del movimiento del agua se remonta miles de años atrás con los romanos y los griegos, quienes ya aprovechaban la energía que producía el agua, con el uso de ruedas hidráulicas para moler el grano. Durante la Edad Media, también se usó el agua como fuerza y creadora de energía con grandes ruedas hidráulicas, ya que descubrieron que tenían mucha más fuerza que los caballos y mulas.

John Smeaton fue el ingeniero que estudió y descubrió el funcionamiento de la energía hidráulica. Se encargó de crear grandes ruedas hidráulicas hechas de hierro. Durante la Revolución Industrial, obtuvo su gran auge, puesto que sirvió para impulsar grandes industrias de explotación como la textil. Como el carbón y el resto de los combustibles estaban casi agotados-fue la energía del agua la que ayudó a que continentes como América y Europa pudieran evolucionar y expandir sus ciudades como Nueva York, Boston, Londres o París. (Soria *et al.*, 2008).

La energía hidráulica como bien hacen referencia estos autores se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética y potencial de la corriente del agua o saltos de agua. Es un tipo de energía verde, ya que su impacto ambiental es mínimo siempre y cuando no se construyan grandes represas. Existen diferentes infraestructuras para la creación de esta energía: la presa, el embalse que almacena el agua, y por último la central que es la que finalmente genera la energía. Esta última se divide en centrales de agua fluyente (funcionamiento continuo y no altera los ríos),

centrales de regulación (regula el funcionamiento a nivel estacional o anual) y centrales de bombeo (generan energía y acumulan energía eléctrica bombeando agua a otro embalse superior).

En el presente trabajo, el sitio de estudio cuenta con un sistema de generación híbrido compuesto por módulos fotovoltaicos y una rueda hidráulica. Esta última aprovecha el flujo constante de agua del río para producir energía mecánica, que luego es transformada en energía eléctrica. Se trata de una estructura de gran tamaño, generalmente construida en madera o metal, que incorpora paletas o cucharas dispuestas en su periferia. Al recibir el impacto del agua, estas paletas permiten que la rueda gire.

En este caso particular, la instalación cuenta con un pequeño dique que permite retener el agua y canalizarla, aumentando así la presión y la velocidad del flujo que incide sobre la rueda. Este diseño mejora significativamente el rendimiento del sistema, ya que incrementa la fuerza rotacional generada, la cual se transmite mediante un sistema de engranajes y cadenas hasta el generador eléctrico.

Por su parte, los paneles solares fotovoltaicos complementan esta solución energética al capturar la radiación solar y convertirla en electricidad de manera limpia y silenciosa. Su incorporación resulta especialmente útil en contextos donde la disponibilidad de radiación solar es alta, permitiendo diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de una sola fuente y mejorar la autonomía del sistema.

### **2.1.1 Matriz Energética Mundial**

El calentamiento global es el principal desafío ambiental a nivel mundial al que las sociedades se enfrentan hoy en día. El aumento de la temperatura media global es una realidad y se refleja en la reducción de las masas de hielo en los polos, como también en la reducción de las precipitaciones. Esto puede traer consecuencias como el aumento del nivel del mar, inundaciones en zonas costeras y pérdida de biodiversidad como amenazas significativas para los ecosistemas si no se toman medidas para frenarlo. Es crucial reducir las emisiones antrópicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), quienes son responsables del incremento de la temperatura. Según el IPCC (2014), hasta 2011 ya se había utilizado el 65% del carbono permitido para mantener el aumento de temperatura en 2 °C. Por ello, los países deben comprometerse a implementar políticas y acciones para reducir las emisiones de GEI, enfocándose en las actividades que generan mayores emisiones.

Cuando se trata de desarrollar a nivel de detalle la matriz energética es importante conocer como está formada desde su base para entender como aportan los distintos tipos de fuentes. Estas fuentes se dividen en:

- *Fuentes de Energía Primaria:* Son aquellas que se encuentran en la naturaleza sin ningún tipo de transformación.
- *Fuentes de Energía Secundaria:* Es la energía transformada a partir de las fuentes primarias.

En la tabla 1 se muestra a que tipos de energía corresponde cada tipo de fuente.

**Tabla 1:** Diferentes tipos de fuentes de energía

|  |   |
|--|---|
| <b>TIPO DE FUENTES</b>                 | <b>ENERGIA PRIMARIA</b>   |
|  | Fósiles: petróleo, gas y carbón                                     |
|  | Renovables: Energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa |
|  | Nuclear: Energía obtenida del uranio                                |
|  | <b>ENERGIA SECUNDARIA</b>   |
|  | Electricidad  |
| Combustibles refinados: nafta y gasoil |   |

A su vez, esa matriz energética se compone de dos tipos de energía que se utilizan para satisfacer las necesidades energéticas globales. Se clasifican en dos categorías: *Energías renovables* y *Energías no renovables*.

- *Energías renovables*: las más usadas a nivel mundial son: Energía eólica, solar, hidráulica, geotérmica y la proveniente de la biomasa.
- *Energías No Renovables*: son las más utilizadas en el mundo, ya que su disponibilidad y acceso es más asequible que las Energías Renovables, como también su generación ininterrumpida, lo que las hace poder utilizarlas en cualquier momento que se requieran. Estas energías son principalmente: Petróleo, gas natural, carbón y energía nuclear

Es importante saber que una buena matriz energética alcanza varios vectores importantes para un país, región o continente. Aporta beneficios como:

- *Sostenibilidad*: al incorporar fuentes de energía renovables, reduce el impacto ambiental y contribuye a la lucha contra el cambio climático.
- *Economía*: al tener variedad de fuentes de energía, se logra una matriz equilibrada, lo que hace que mejore la competitividad y reduce los costos energéticos
- *Seguridad Energética*: reduce la dependencia de una sola fuente de energía, disminuyendo el riesgo de interrupciones en el suministro de esta a la población.

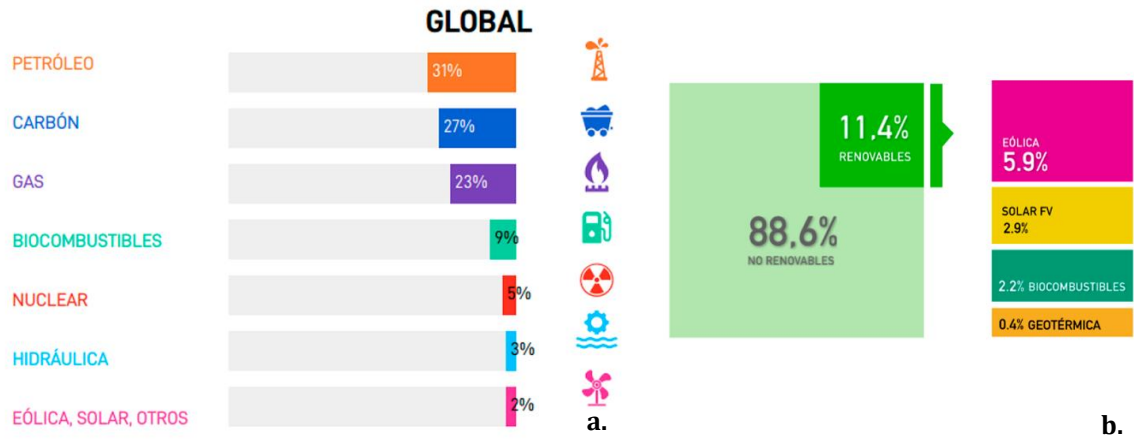
Para alcanzar estos beneficios en la matriz se debe definir los componentes principales que se detallan en la Tabla 2.

La matriz energética mundial está en constante evolución, influenciada por avances tecnológicos, políticas energéticas y crecientes preocupaciones ambientales. Esta dinámica ejerce una fuerte presión sobre los países para que transformen sus matrices nacionales hacia un mayor uso de fuentes renovables. La diversificación de fuentes de energía genera una mayor seguridad energética a la hora de proveer de energía eléctrica a la población. Y también es importante saber cómo es el consumo eléctrico en cada sector.

**Tabla 2:** Beneficios de la matriz energética diversificada

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>FUENTES DE ENERGÍA</b>       | Renovables y no renovables  |
| <b>DEMANDA ENERGÉTICA</b>       | Cantidad total de energía requerida en sectores como residencial, industrial, comercial y transporte.   |
| <b>INFRAESTRUCTURA</b>          | Instalaciones y redes para generación, distribución y almacenamiento de energía (plantas, líneas de transmisión, sistemas de distribución).     |
| <b>TECNOLOGÍA</b>               | Tecnologías utilizadas en la generación y el uso de energía, que afectan la eficiencia y sostenibilidad del sistema energético.                 |
| <b>POLÍTICAS Y REGULACIONES</b> | Normativas y políticas gubernamentales que influyen en producción y consumo de energía (incentivos para renovables, restricciones a emisiones). |
| <b>IMPACTO AMBIENTAL</b>        | Efectos de las fuentes de energía en el medio ambiente, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.              |
| <b>ECONOMÍA</b>                 | Aspectos económicos relacionados con costos de producción, precios de la energía, inversiones y subsidios.                                      |

Si se observa la figura 1, la oferta de energía se basa actualmente en un aporte principalmente de fuentes no renovables (carbón, petróleo, gas natural y nuclear), alcanzando un porcentaje de alrededor del 88 % de la matriz primaria (Fig. 1.a). Respecto a las energías secundarias, a nivel global, el 11,4% de la energía eléctrica procede de las energías renovables (Fig. 1.b), siendo la más importante la eólica (IEA, 2020; REN21, 2020). En particular, el sector energético es responsable del 70% de los GEI, y la generación de energía para calefacción y electricidad causa el 40% de las emisiones de este sector (Climate Watch, 2020). La diversificación de las matrices energéticas con fuentes renovables es una de las opciones para reducir las emisiones.

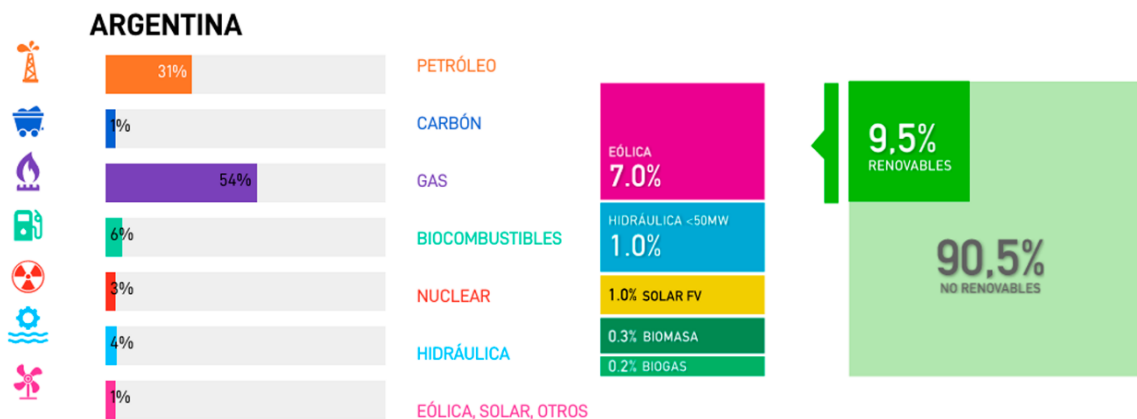


**Figura 1:** Matrices energética primaria y secundaria nivel global.

**Fuente:** IEA (2020). World Energy Balances 2020, año 2018; **Fuente:** REN21 (2020). Renewables 2020 Global Status Report (Tomado de Fundación YPF).

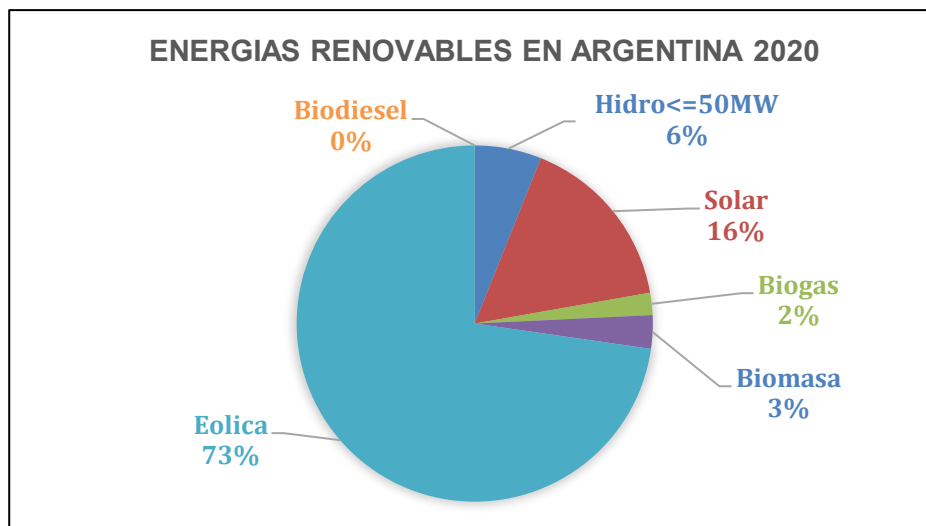
### 2.1.2 Matriz Energética Nacional

La matriz energética de Argentina es heterogénea y está conformada por distintas fuentes. Desde sus inicios, mostró una alta dependencia de los hidrocarburos. Las fuentes más importantes son el petróleo y el gas, que representan un 90 % de la matriz primaria (Fig. 2.). Sin embargo, las energías renovables lograron un crecimiento histórico en 2020 con un incremento del 63% (Fig. 3), registrándose un aumento significativo en el uso de la energía eólica, solar e hidráulica renovable que supera el 50 %, según el informe del estado del ambiente (IEA, 2020).



**Figura 2:** Balance energético nacional 2019-2020. Informe anual 2020.

**Fuente:** Sec. de Energía (2020). Balance Energético Nacional. CAMMESA (2021). (Tomado de Fundación YPF).



**Figura 3:** Participación de las energías renovables en la matriz energética en Argentina (2020)  
**Fuente:** CAMMESA, ONS, CNE, MIEM, 2020

Para el análisis de la matriz energética, se utiliza el Balance Energético Nacional (BEN) que es el principal instrumento estadístico utilizado para el análisis del sector energético y la definición de políticas públicas a mediano y largo plazo. El BEN también contiene toda la información relativa a la producción, importación, exportación, transformación y consumo de energía en Argentina. El análisis de estos datos constituye una herramienta fundamental para la planificación de la soberanía energética nacional, permitiendo una acción más focalizada de las políticas públicas relacionadas a este ámbito (Ministerio de Energía y Minería de la Nación, 2021).

Conocer la potencia instalada y la generación de cada fuente de energía en la matriz energética de un país o región es fundamental para una correcta planificación y gestión del sistema energético (tabla N°3). La potencia instalada refleja la capacidad máxima teórica que el sistema de generación de energía puede alcanzar bajo condiciones ideales, lo que permite prever si el país o la región tiene suficiente capacidad para satisfacer la demanda energética en momentos de pico. Esta información es crucial para garantizar la seguridad energética, pues asegura que haya suficiente infraestructura disponible para hacer frente a la demanda de electricidad, reduciendo el riesgo de apagones y garantizando la continuidad del suministro.

La generación de energía indica la cantidad real de energía producida durante un periodo específico. Conocerla permite evaluar la eficiencia del sistema, entender si se está generando suficiente energía para cubrir la demanda y si se están aprovechando adecuadamente las fuentes de energía disponibles. La comparación entre la potencia instalada y la generación real (tabla N°4) también es importante para identificar posibles deficiencias, optimizar los recursos y adaptar las políticas energéticas a las necesidades reales.

Contar con estos datos es fundamental para planificar el futuro del sistema energético, ya que proporciona una base sólida para las decisiones de inversión en nuevas infraestructuras, la transición hacia energías renovables y la diversificación de las fuentes de energía. Asimismo, es clave para la reducción de costos operativos, ya que permite ajustar la mezcla energética de manera

eficiente, favoreciendo las fuentes más económicas y sostenibles. Finalmente, el conocimiento de la potencia instalada y la generación contribuye a una gestión ambiental más eficaz, al permitir evaluar el impacto de las fuentes de energía en términos de emisiones y sostenibilidad.

**Tabla 3:** Capacidad instalada de la matriz energética en Argentina y países limítrofes (2020)

| Tipo               | Argentina     |              | Brasil        |              | Chile         |              | Uruguay      |              |
|--------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                    | MW            | Particip.    | MW            | Particip.    | MW            | Particip.    | MW           | Particip.    |
| <b>Total</b>       | <b>42.584</b> | <b>100 %</b> | <b>42.584</b> | <b>100 %</b> | <b>25.839</b> | <b>100 %</b> | <b>4.950</b> | <b>100 %</b> |
| Térmica            | 25.322        | 59 %         | 22.547        | 13 %         | 12.312        | 48 %         | 1.188        | 24 %         |
| Hidro <sup>1</sup> | 11.345        | 27 %         | 108.663       | 63 %         | 6.783         | 26 %         | 1.535        | 31 %         |
| Eólica             | 3.169         | 7 %          | 19.289        | 11 %         | 2.487         | 10 %         | 1.535        | 31 %         |
| Nuclear            | 1.755         | 4 %          | 1.990         | 1 %          | -             | -            | -            | -            |
| Solar              | 860           | 2 %          | 4.696         | 3 %          | 3.782         | 15 %         | 248          | 5 %          |
| Biomasa            | 69            | 0.2 %        | 14.111        | 8 %          | 379           | 1 %          | 446          | 9 %          |
| Biogas             | 64            | 0.2 %        | -             | -            | 56            | 0.2 %        | -            | -            |
| Otras              | -             | -            | 645           | 0.4 %        | 40            | 0.2 %        | -            | 0.4 %        |

Fuente: CAMMESA, ONS, CNE, MIEM, 2020

**Tabla 4:** Potencia y generación de energía a partir de fuentes renovables en Argentina.

| TIPO         | POTENCIA A DICIEMBRE 2020<br>MW | GENERACION 2020<br>GWh |
|--------------|---------------------------------|------------------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>3.997</b>                    | <b>12.737</b>          |
| Solar        | 759                             | 1.345                  |
| Hidráulica   | 510                             | 1.257                  |
| Biomasa      | 54                              | 421                    |
| Biogás       | 52                              | 305                    |
| Eólica       | 2.693                           | 9.409                  |

Fuente: CAMMESA

### 2.1.3 Energías Convencionales

Cuando se hace referencia a las energías convencionales se refiere aquellas fuentes de energía que se han utilizado históricamente en la mayoría de los países debido a su disponibilidad, infraestructura establecida y costes relativamente bajos. Estas energías incluyen principalmente la energía fósil y energía nuclear. Dentro de la energía fósil, se encuentra el petróleo, usado principalmente para el transporte en forma de combustibles como puede ser la gasolina y el diésel. El carbón es otro de los subproductos, utilizado para generar electricidad y en procesos industriales como la producción de acero y por último el gas natural que también se usa para generación de electricidad, calefacción y como combustible para vehículos. Por otro lado, se encuentra la energía nuclear que utiliza la fisión de átomos de uranio o plutonio para generar calor, que luego se convierte en electricidad a través de generadores de vapor (Forero A., 2015).

Estas energías son consideradas "convencionales" porque han sido la base de la producción de energía mundial durante muchas décadas. Sin embargo, su impacto ambiental, como las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación, ha llevado a una creciente transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables. Estas energías, actualmente continúan enfrentándose a diferentes tipos de problemas, como es el agotamiento de las reservas a corto y mediano plazo, como también son la principal causa que ocasiona problema ambiental, con su incidencia en el cambio climático global (Cabello G., 2014).

Estos tipos de combustibles son los responsables de la gran mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global. Según los informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y de la Agencia Internacional de Energía (AIE), los combustibles fósiles contribuyen aproximadamente al 75% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

*“Producir 1 kWh de electricidad con un sistema renovable como el mini hidráulico por ejemplo, tiene un impacto medioambiental 300 veces inferior al que tiene producirlo con lignito, 250 veces menor respecto al que supone generarlo con carbón y petróleo, 125 con uranio y 50 con gas natural (Asociación Empresarial Eólica (AEE), 2012). Además, con el avance tecnológico de los últimos años, especialmente en sistemas fotovoltaicos, este impacto ambiental se ha reducido aún más, reforzando la ventaja de las energías renovables frente a las fósiles”*

Aproximadamente el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global provienen de la generación de electricidad y calor, convirtiéndose en una de las principales causas del calentamiento global. Por otro lado, el sector del transporte representa entre el 14% y el 16% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, debido principalmente al uso de combustibles fósiles en vehículos, aviones, barcos y trenes. La industria también contribuye significativamente, con actividades como la producción de cemento, acero y productos químicos, que generan alrededor del 20% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. (AIE, 2022). Ante este panorama, la transición hacia fuentes de energía renovables y limpias se vuelve crucial para mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

#### **2.1.4 Energías Renovables**

Cuando se hace referencia a las energías renovables, se refiere aquellas fuentes de energía que se regeneran naturalmente con el tiempo y no se agotan. Las más conocidas y utilizadas son la eólica, la solar térmica y fotovoltaica, la biomasa y los biocombustibles, la hidráulica –con especial atención a la minihidráulica–, la geotérmica y las energías procedentes del mar. Estas energías se presentan como una alternativa frente a las energías convencionales, algunas de ellas muy contaminantes. Los países con escasos recursos energéticos buscan por todos los medios el aprovechamiento de las energías alternativas, para reducir la dependencia del exterior. Otro de los motivos por los que se incentiva el uso de estas energías es la significativa reducción de los altos niveles de contaminación atmosférica que enfrenta el planeta (Roldán Vilorio, J., 2013). Asimismo,

son fundamentales en la transición hacia un sistema energético que abandone los combustibles fósiles, contrarrestando el calentamiento global y promoviendo el uso de energías limpias que protejan tanto la salud humana como el medioambiente. Diversificar la matriz energética con estas fuentes disminuye los riesgos asociados a la volatilidad de precios de combustibles fósiles y mejora la seguridad energética, especialmente en contextos geopolíticos inestables. Además, la industria de energías renovables crea empleos, fomenta la innovación tecnológica y, a medida que sus costos disminuyen, se vuelven más competitivas. También reducen los costos a largo plazo en salud y medio ambiente, mejoran la calidad del aire y la salud pública al no emitir contaminantes. Favorecen la independencia energética de los países, especialmente aquellos sin reservas de combustibles fósiles, y promueven el desarrollo económico y la generación descentralizada de electricidad en áreas rurales, mejorando el acceso a la energía en regiones remotas (Agencia Internacional de Energía (IEA), 2020).

Se puede decir que la totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar, con la excepción de la geotermia. Directamente en el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar, e indirectamente en el caso de las energías eólica, hidráulica, mareas, olas y biomasa, entre otras (Santamarta, 2004). Producir cada vez más energía renovable y abandonar las fuentes convencionales es una necesidad que comparten todos los países del mundo. Según los datos del último informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), en 2022 hasta el 83 % de toda la capacidad eléctrica añadida procedía de fuentes renovables. Mientras que, en 2021, según un informe publicado por Ember, las renovables generaron el 38 % de la electricidad mundial.

Adoptar energías renovables no solo es una inversión en el futuro de nuestro planeta, sino también en la salud de las generaciones venideras. El momento de actuar es ahora: el cambio hacia un sistema energético limpio y sostenible está en nuestras manos

#### **2.1.4.1 Energía Solar**

La energía solar es una forma de energía renovable que proviene del sol. La luz y el calor del sol pueden ser aprovechados de diversas maneras para generar electricidad o para calentar agua y otros materiales. Existen dos formas principales de capturar y usar esta energía:

Energía solar fotovoltaica: Utiliza paneles solares fotovoltaicos para convertir la luz del sol directamente en electricidad. Estos paneles están hechos de materiales semiconductores, como el silicio, que generan corriente eléctrica cuando la luz solar incide sobre ellos.

Energía solar térmica: Utiliza colectores solares térmicos para capturar el calor del sol y usarlo en sistemas de calefacción, como calentadores de agua o en procesos industriales. También se puede usar para generar electricidad mediante la concentración del calor para mover turbinas.

La energía solar es considerada una de las fuentes de energía más limpias y sostenibles, ya que no produce emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero durante su funcionamiento. Además, es prácticamente inagotable a escala humana, lo que la hace una opción

atractiva para reducir la dependencia de combustibles fósiles y combatir el cambio climático. Por esto se la considera que es una forma eficiente y ecológica de aprovechar los recursos naturales del sol para satisfacer nuestras necesidades energéticas (Wolfson, 2011).

#### 2.1.4.2 Tecnología Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que convierte la luz solar directamente en electricidad mediante el uso de paneles solares. Estos paneles están compuestos por células fotovoltaicas hechas de materiales semiconductores, como el silicio, que generan electricidad cuando son expuestos a la luz solar. Este tipo de energía tiene como ventajas ser un tipo energía limpia y sostenible, ya que no produce contaminantes ni emisiones de CO<sub>2</sub> en su utilización. Tiene un costo de inversión alto al principio, pero los costos operativos son bajos, permite tener independencia energética en lugares remotos, lo que genera una reducción en el uso de combustibles fósiles para autoabastecimiento. Puede ser utilizada en grandes instalaciones como también para pequeñas viviendas domésticas.

Según Ortega *et al.*, (2021), cuando se habla de sistemas de energía fotovoltaica podemos clasificarlos en dos tipos:

—**Sistemas On-Grid:** es aquel sistema de energía eléctrica producido por Energías renovables, en este caso solar, el cual se encuentra conectado a la red eléctrica pública. No requiere de un banco de baterías para su almacenamiento, ya que esa energía producida va directa del inversor al consumo de la vivienda y si supera la demanda de la vivienda, es inyectada a la red eléctrica para evitar su pérdida. En caso contrario, el sistema tiene la capacidad de obtener la energía de la red para abastecer la vivienda. En algunos países los usuarios suelen recibir créditos o pagos por la energía que aportan a la red, dependiendo de las regulaciones locales.

Los aspectos positivos de este sistema es que puede reducir la factura de electricidad y en algunos casos proporcionar ingresos adicionales si se vende energía a la red. Otro punto para destacar es la fiabilidad, puesto que te garantiza el suministro constante de electricidad, incluso si el sistema solar o de energía renovable no está produciendo suficiente energía. La dificultad que puede aparecer es que, si llega haber algún problema en la red eléctrica, como puede ser un corte en el suministro eléctrico, y a sumarle esto la ausencia de días con buena radiación solar que es normal que suceda, el sistema también se detendrá a menos que se utilice un generador eléctrico.

—**Sistemas Off-Grid:** Se refiere a sistemas diseñados para abastecer una vivienda con el uso de fuentes renovables, pero de una forma aislada. Esto permite tener la capacidad de almacenar la energía producida durante un periodo dado, en un banco de baterías, brindando la posibilidad de contar con un sistema autónomo sin requerir la conexión a la red eléctrica pública.

Este tipo de sistema es ideal para áreas remotas o rurales donde no llega la red eléctrica, lo que genera total independencia y proporciona autonomía en el suministro de energía. Evita problemas comunes que suceden en los tendidos eléctricos de los pueblos y ciudades. Su principal inconveniente es el costo inicial de inversión, puesto que los sistemas de almacenamiento de

energía (baterías) y equipos adicionales poseen costos muy elevados. Como también requiere un mantenimiento regular y gestión de la capacidad de las baterías.

Los sistemas fotovoltaicos se componen de múltiples elementos que permiten su correcto funcionamiento. Entre sus componentes esenciales se encuentran los paneles solares, que captan la energía del sol y la convierten en electricidad en forma de corriente continua (CC); el inversor solar, que transforma esa corriente continua en corriente alterna (CA), adecuada para alimentar electrodomésticos y otros equipos; el controlador de carga, que regula la energía que entra al banco de baterías, evitando sobrecargas, sobre descargas o fluctuaciones de tensión; y, en los sistemas aislados (off-grid), las baterías, encargadas de almacenar la energía para su uso posterior.

Además, el sistema debe incluir una estructura de soporte para los paneles, cableado y conectores adecuados, y protecciones eléctricas (como fusibles y disyuntores) para garantizar la seguridad y la eficiencia de toda la instalación.

En conjunto, estos componentes permiten que el sistema funcione de forma estable, eficiente y segura, ya sea conectado a la red o de manera autónoma en entornos aislados. En particular, el controlador de carga y el inversor cumplen funciones clave: el primero optimiza el proceso de carga y protege el banco de baterías, mientras que el segundo regula la entrega de energía al sistema de consumo y sincroniza la tensión y frecuencia cuando se conecta a la red (Esparza López, 2018).

#### **2.1.4.3 Energía Hidráulica**

El agua es un elemento esencial en el sector energético y, dentro de las energías renovables, constituye uno de los recursos más utilizados para la obtención de energía eléctrica. Las represas hidroeléctricas son ampliamente empleadas por su multifuncionalidad, ya que además de generar electricidad, se aprovechan para riego e industrias (EPSA, 2016). La energía hidroeléctrica tiene la particularidad de ser almacenada y regulada mediante el embalse, lo que permite dosificar su aprovechamiento en momentos estratégicos, a diferencia de otras fuentes renovables. Este tipo de centrales se destacan por su **rápida capacidad de respuesta**, lo que las hace especialmente valiosas para cubrir la demanda en horas pico. En algunos casos, las hidroeléctricas de gran caudal o de paso continuo pueden considerarse dentro de la generación de base; sin embargo, las centrales con embalse suelen operar mayormente como energía de punta, salvo en períodos de alta disponibilidad hídrica (Bludszuweit y Navarro, 2008).

La energía hidráulica es una fuente de energía renovable que se obtiene aprovechando el movimiento del agua, ya sea de ríos, cascadas, corrientes, mareas o las olas del mar. Este tipo de energía se genera captando la energía cinética y potencial del agua en movimiento. El método más común para aprovecharla es a través de las plantas hidroeléctricas, donde el agua de ríos o embalses se canaliza hacia turbinas hidráulicas. La fuerza del agua hace girar las turbinas, lo que a su vez acciona un generador eléctrico que convierte la energía mecánica en electricidad. Además, existen otras formas de energía hidráulica como la mareomotriz y la undimotriz, que aprovechan el

movimiento de las mareas y las olas del mar, respectivamente, utilizando principios similares para generar electricidad a partir de las oscilaciones del agua (Wolfson, 2011).

Este tipo de energía ofrece numerosos beneficios, no solo por ser una fuente renovable y sostenible al aprovechar el agua, sino también por ser un recurso natural inagotable. Una de sus principales ventajas es que no produce emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero, lo que la convierte en una opción limpia para combatir el cambio climático. Además, las plantas hidroeléctricas son altamente eficientes, con rendimientos de hasta un 90%, lo que permite una conversión efectiva de la energía. Esta energía también tiene bajos costos operativos una vez que la infraestructura está construida y permite almacenamiento de energía a través de sistemas de bombeo reversible, lo que facilita la adaptación a la demanda. Finalmente, la energía hidráulica puede generar empleo y desarrollo económico en las áreas donde se instalan, contribuyendo al bienestar de las comunidades locales (Soria *et al.*, 2008).

#### **2.1.4.4 Tecnología Hidráulica**

La tecnología hidráulica es muy amplia, abarca desde las centrales hidráulicas a gran escala hasta las minihidráulicas. En todos los sistemas consta de la transformación en electricidad de la energía cinética adquirida por una masa de agua en movimiento que se efectúa a través de modernas turbinas y generadores en óptimas condiciones para su eficiencia energética. En comparación con una central térmica, la central hidroeléctrica de 1000 kW funcionando durante 1000 horas a potencia nominal evitará quemar 223 toneladas de petróleo, 238.000 m<sup>3</sup> de gas natural, 319 toneladas de carbón o 25 kg de uranio natural en una central PWR (reactor de agua a presión) (Osorio, 2008).

Las centrales hidroeléctricas, son consideradas una fuente de energía renovable y limpia, ya que utiliza el agua en un ciclo continuo sin producir emisiones directas de gases de efecto invernadero. Estas centrales constan de represas que ayudan a regular el flujo de agua, lo que puede reducir el riesgo de inundaciones en áreas aguas abajo y también pueden almacenar agua para su uso en periodos de sequía o para riego agrícola. Este tipo de generación puede ser una fuente de energía continua y fiable, ya que no depende de las condiciones climáticas diarias como otras fuentes de energía renovable. Sin embargo, algunos consideran que estas grandes represas generan significativos impactos en la geografía donde se llevan a cabo. Esto sucede debido a los grandes movimientos de suelo que pueden alterar los ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando a la flora y fauna local. Los embalses pueden inundar grandes áreas de tierra, incluyendo hábitats naturales. Otro punto para tener en cuenta en la creación de embalses es que puede requerir el desplazamiento de comunidades que viven en las áreas inundadas como también pueden afectar en el flujo natural de los ríos, lo que puede impactar a los peces y otros organismos acuáticos que dependen de esos flujos para reproducirse y alimentarse. En la actualidad las represas hidroeléctricas son la fuente más antigua de energía eléctrica renovable y sigue siendo, la más importante cuantitativamente a nivel mundial, según indica la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).

Si bien el sistema antes nombrado es el más utilizado a nivel mundial, se puede encontrar con sistemas hidráulicos de menor escala, con una menor generación, pero también menor costo de construcción. Esta energía hidráulica se basa en el uso del flujo constante o caída del agua para realizar trabajo a pequeña escala, esto puede implicar la conversión de la energía cinética del agua en energía mecánica o eléctrica. Estos sistemas son muy utilizados para brindar electricidad a pequeños establecimientos, lo que hace muy apropiado su uso, sobre todo en zonas aisladas de la red eléctrica. Se componen principalmente de turbinas o ruedas hidráulicas para convertir la energía cinética del agua en energía mecánica. Las turbinas pueden ser de diferentes tipos, como las de eje vertical u horizontal. Asimismo, es necesario la presencia de un generador para convertir la energía mecánica de las turbinas en energía eléctrica y para que esto suceda es imperioso contar con sistema de acumulación de agua, como puede ser un embalse pequeño. A través de canales o tuberías es que se hace llegar el flujo de agua constante desde el depósito hasta la rueda o turbina y así garantizar la funcionalidad y eficiencia del sistema (Espejo Marín *et al.*, 2017).

En cuanto a las ruedas hidráulicas, son dispositivos mecánicos que transforman la energía cinética o potencial del agua en energía mecánica, la cual puede convertirse en energía eléctrica mediante un generador. Su funcionamiento se basa en el paso del agua a través de paletas o cangilones que giran con la fuerza del flujo, aprovechando la corriente de ríos, arroyos o canales. (Bludszuweit & Navarro, 2008). Estos sistemas al funcionar conectados a un generador, se utiliza un regulador de derivador con resistencia para estabilizar la tensión del sistema eléctrico. Este dispositivo desvía automáticamente el exceso de energía hacia una resistencia cuando la demanda es baja o nula, evitando así sobretensiones que podrían dañar equipos o afectar el rendimiento del sistema. De esta manera, el regulador actúa como un sistema de descarga que mantiene constante la carga del generador y protege tanto la instalación como el banco de baterías.

En el contexto de pequeños establecimientos rurales, las ruedas hidráulicas representan una solución eficiente, económica y sustentable, especialmente cuando se cuenta con un curso de agua constante y de bajo caudal. Su instalación y mantenimiento son relativamente simples, y permiten generar energía de forma continua, complementando otras fuentes renovables como la solar, cuya producción depende de las condiciones climáticas. Esto las convierte en una alternativa ideal para lograr autonomía energética en zonas aisladas o con acceso limitado a la red eléctrica. (Espejo Marín *et al.*, 2017).

Es crucial destacar la importancia del uso de la energía hidráulica por varias razones significativas. En primer lugar, esta metodología aprovecha uno de los recursos más abundantes y esenciales en nuestro planeta: el agua de los ríos. Dado que el agua es un recurso natural de gran disponibilidad y su flujo es constante en muchos lugares, la energía hidráulica se presenta como una solución viable y sostenible para la generación de energía (Guastay Cajo, 2020). En segundo lugar, la energía hidráulica tiene una rica historia que subraya su relevancia y efectividad. En tiempos pasados, antes de la revolución industrial y del desarrollo de las modernas tecnologías de generación de energía, se utilizaban sistemas como la rueda hidráulica. Este dispositivo simple, pero ingenioso, convertía la energía cinética del flujo de agua en trabajo mecánico. La rueda

hidráulica era empleada en molinos para moler grano, bombear agua y realizar otras tareas esenciales en la vida diaria. Su uso extendido en épocas anteriores demuestra la eficacia de la energía hidráulica y su capacidad para satisfacer las necesidades energéticas de diversas comunidades (Espejo Marín *et al.*, 2017). Según estos autores el hecho de que la energía hidráulica haya sido una fuente confiable de energía durante siglos resalta su importancia histórica y su capacidad para adaptarse a diferentes contextos y tecnologías a lo largo del tiempo. Hoy en día, esta energía sigue siendo un componente vital en la producción de electricidad y en el desarrollo sostenible, reafirmando su valor como una solución energética confiable y ecológica.

### **2.1.5 Almacenamiento**

Los bancos de baterías cumplen un papel esencial en los sistemas de generación de energía renovable, especialmente en instalaciones aisladas de la red (off-grid), donde no existe conexión al suministro eléctrico convencional. Su función principal es almacenar la energía generada en momentos de excedente, como durante las horas de mayor radiación solar o producción hidráulica, para poder utilizarla posteriormente cuando la generación es insuficiente o nula. Este almacenamiento garantiza la continuidad y estabilidad del suministro energético, independientemente de la variabilidad de las fuentes renovables (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2015).

Un banco de baterías se compone de varias unidades conectadas en serie, en paralelo, o en combinaciones de ambas, configuradas según los requerimientos de tensión y capacidad del sistema. La elección del tipo de batería —plomo-ácido, AGM, gel o litio— influye directamente en aspectos como la profundidad de descarga permitida (DoD), la eficiencia del sistema y la vida útil del almacenamiento. El correcto dimensionamiento de estos bancos es crucial: un diseño deficiente puede provocar sobrecargas o descargas profundas frecuentes, lo que reduce la vida útil de las baterías y compromete la autonomía del sistema. Por el contrario, una sobredimensión innecesaria incrementa los costos sin aportar beneficios proporcionales (IRENA, 2015).

Además, la importancia del almacenamiento se ve reflejada en experiencias concretas de sistemas aislados que integran generación hidráulica y bancos de baterías, donde el diseño eficiente del almacenamiento permite estabilizar la entrega de energía incluso en contextos variables (Espejo Marín, García Marín, & Aparicio Guerrero, 2017). En este sentido, el banco de baterías no solo actúa como respaldo energético, sino también como componente clave para alcanzar la eficiencia operativa y la sustentabilidad del sistema renovable.

### **2.1.6 Eficiencia Energética**

La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia*. De manera general, el concepto puede ser definido como la facultad de orientar algo o a alguien con el objetivo de alcanzar una determinada meta con el uso más racional de recursos. La unificación de esta palabra con la energía forma el concepto de eficiencia energética, la cual es crucial para la sostenibilidad, ya que ayuda a conservar

los recursos naturales, reducir la contaminación ambiental y combatir el cambio climático (Poveda, 2007). La eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía utilizada en una actividad o proceso y la cantidad de energía originalmente suministrada o disponible para dicho propósito. En términos más simples, se refiere a la capacidad de un sistema, dispositivo o proceso para realizar su función utilizando la menor cantidad de energía posible. Mejorar la eficiencia energética implica usar menos energía para obtener el mismo resultado, lo que puede llevar a una reducción en los costos de energía y en las emisiones de gases de efecto invernadero (International Energy Agency (IEA), 2020).

Con certeza del impacto económico y ambiental del uso esencial de energía eléctrica, la eficiencia energética surge para concientizar sobre el consumo racional de recursos energéticos, así como para promover alternativas de estos. Como muestra la figura 4, es muy utilizado en el ámbito industrial, la generación de un ciclo de eficiencia energética, que es un instrumento para obtener mejores resultados productivos, invirtiendo la menor cantidad de energía posible sin afectar al medio ambiente. Su objetivo es maximizar el aprovechamiento de los recursos energéticos y reducir los costos de producción, sin comprometer la eficiencia de las operaciones ni la calidad de los procesos, asegurando al mismo tiempo la sustentabilidad de la empresa (Sevilleja Aceituno, 2011).

Con el consumo de energía aumentando drásticamente, es fundamental desarrollar tecnologías para energías nuevas, renovables y más económicas, sin embargo, esto puede llevar mucho tiempo y el sector industrial necesita una solución hoy. En este contexto, se actuó para mejorar el consumo energético y se creó la Norma ISO 50.001, un sistema de gestión de eficiencia energética que ayuda a las organizaciones a manejar su energía de forma más eficaz y eficiente. Esta certificación, permite determinar las tareas que emplean más energía y que figuran como una pérdida energética y económica, con el objetivo de establecer un plan de acción, una política energética y una gestión adecuada de las necesidades energéticas. Así, la ISO 50.001 es una herramienta estratégica internacional y voluntaria, que se adapta a sistemas e instalaciones de compañías de cualquier tamaño, promoviendo la transparencia y mejorando la comunicación con respecto a la gestión de los recursos energéticos. (International Organization for Standardization (ISO), 2018).

Esta norma se centra en evaluar la política energética, los objetivos y metas, los planes de acción e implementación, indicadores de desempeño, la capacitación de personal, aquellas auditorías energéticas y procesos de mejora continua, como también algunos otros.



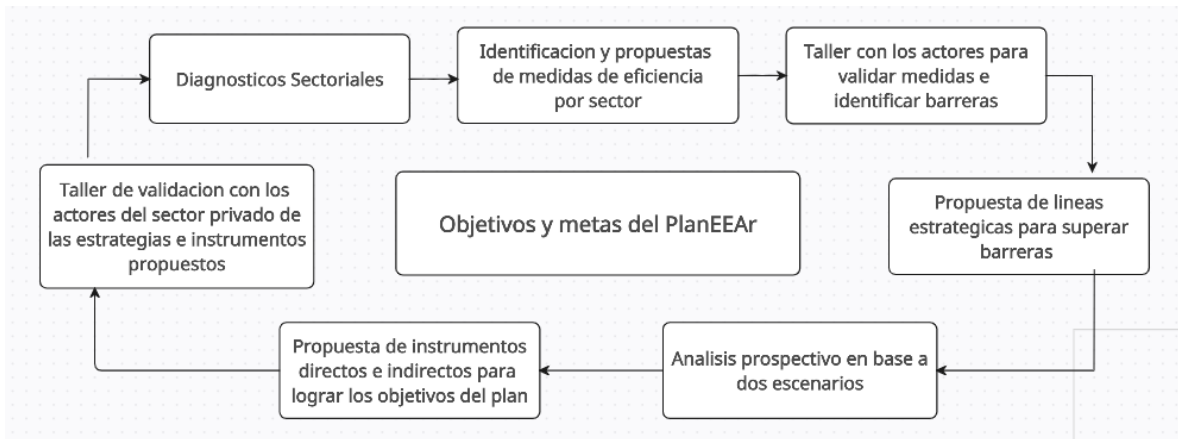
**Figura 4:** Ciclo de eficiencia energética  
**Fuente:** Katherine Viteri, Tractian

La eficiencia energética se ha consolidado en los últimos años como un nuevo paradigma en el estudio de sistemas energéticos, y sobre dicho concepto descansan grandes expectativas en cuanto a las posibilidades de reducción de emisiones de GEI (Stagnitta, 2020).

### 2.1.6.1 Eficiencia Energética a Nivel Nacional

En Argentina, en mayo de 2018, en el marco de la Cooperación entre la Unión Europea (UE) y la Secretaría de Gobierno de la Energía de Argentina, se inicia el proyecto “Eficiencia Energética en Argentina”, financiado por el Partnership Instrument de la UE. El proyecto como tal tiene como objetivo general contribuir a la estructuración de una economía nacional más eficiente en el uso de sus recursos energéticos, disminuyendo la intensidad energética de los diferentes sectores de consumo. Una de las actividades principales de este proyecto, es la elaboración de la propuesta del Plan EEAr.

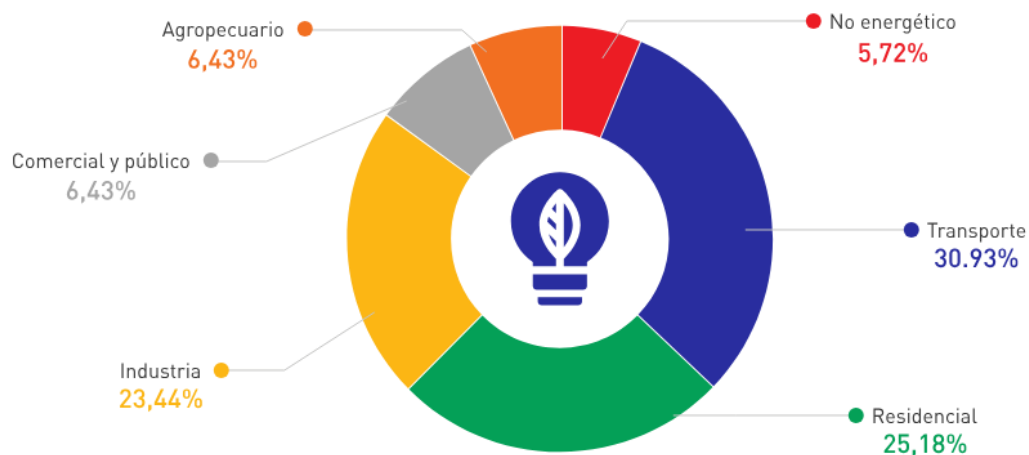
El Plan EEAr se concentra en los tres sectores principales respecto del consumo de energía en el país: Transporte, Industria y Residencial. Su objetivo principal es estudiar las diversas oportunidades de eficiencia energética que posee el país, a partir de la interacción con los representantes de los sectores productores de bienes y servicios. Y una vez identificadas las mismas, desarrollar una prospectiva para 2030/2040 que incluya las opciones de energía evitada posibles, en el marco de la propuesta de políticas y estrategias identificadas en la propuesta de plan. En la Figura 5 se pueden observar los objetivos y metas del mismo.



**Figura 5:** Objetivos y metas del Plan de Eficiencia Energética Argentina.

**Fuente:** Secretaría de energía, PlanEEAr.

La figura 6 muestra cómo estaba distribuido el consumo energético en 2018, según cada sector. Esto sirve para poder llevar un seguimiento y cumplimiento de las metas de eficiencia, líneas estratégicas e instrumentos de promoción planteadas para alcanzar los objetivos para el 2030.



**Figura 6:** Participación de los sectores en el consumo final 2018.

**Fuente:** Secretaría de Energía de la Nación, PlanEEAr.

El plan incluye programas de formación y sensibilización para promover una cultura de eficiencia energética entre ciudadanos, empresas e instituciones. Se establecerán indicadores para evaluar el progreso del plan y realizar ajustes según sea necesario, asegurando la efectividad de las acciones implementadas.

Otro proyecto que fue implementado en Argentina es el Programa de Etiquetado Energético, es una iniciativa destinada a informar a los consumidores sobre la eficiencia energética de los productos eléctricos y electrónicos. A través de este programa, los electrodomésticos y equipos, como refrigeradores, calefactores y luminarias, deben exhibir etiquetas que clasifican su eficiencia

en una escala que va de A (más eficiente) a G (menos eficiente). Estas etiquetas proporcionan información clave, como el consumo anual de energía y el impacto ambiental, lo que facilita la comparación entre diferentes productos. El etiquetado es obligatorio según normativas gubernamentales que se basan en estándares internacionales, asegurando que los consumidores tengan acceso a información clara y confiable.

El programa no solo promueve la elección de productos más sostenibles, sino que también incentiva a los fabricantes a mejorar la eficiencia de sus dispositivos. Además, se llevan a cabo campañas de concientización para educar al público sobre la importancia de la eficiencia energética y cómo interpretar las etiquetas. Para garantizar su efectividad, se establecen mecanismos de control y supervisión, con sanciones para aquellos que no cumplan con los requisitos de etiquetado. A medida que el programa se expande, busca incluir una gama cada vez mayor de productos, contribuyendo así a un consumo más responsable y a la reducción del impacto ambiental asociado al uso de energía.

### **2.1.7 Autonomía Energética y Beneficios Sociales**

Desde hace bastante tiempo, el sector energético y concretamente la autonomía energética es noticia de actualidad en algunos países, un ejemplo es España. Se sabe que la transición hacia una autonomía energética es un objetivo importante para muchos países en el contexto del cambio climático y la búsqueda de un futuro más sostenible. La energía es uno de los motores fundamentales de cualquier país desarrollado y para aquellos que dependen de recursos fósiles provenientes del exterior, se está convirtiendo en un problema grave de estabilidad para sus economías. Sucesos como la inestabilidad del gas que viene de Rusia, el efecto que deja una guerra entre países que son proveedores de algún recurso, la bajada de los precios o los recortes en renovables, o la aparición de intereses internacionales, deja como resultado un gran problema a la hora de abastecerse de energía (Follos, F., 2014).

La autonomía energética y los beneficios sociales están intrínsecamente relacionados, ya que la capacidad de una comunidad o país para generar y gestionar su propia energía tiene un impacto directo en su desarrollo social y económico. Esta autonomía permite a las comunidades tomar control de sus recursos energéticos, empoderando a los ciudadanos y permitiéndoles participar en la toma de decisiones sobre la producción y el uso de la energía. Este empoderamiento fomenta una mayor participación cívica y fortalece el tejido social, promoviendo un sentido de pertenencia y responsabilidad compartida (Sovacool, 2010).

El acceso a fuentes de energía asequibles y sostenibles es crucial para el desarrollo económico. La autonomía energética puede generar empleos locales en la instalación y mantenimiento de tecnologías renovables, lo que contribuye a la reducción de la pobreza. Al crear oportunidades laborales y mejorar el acceso a la energía, se fomenta el desarrollo de pequeñas empresas y se eleva la calidad de vida en las comunidades. Además, la autonomía energética tiene un impacto ambiental significativo. El uso continuo de fuentes de energía convencionales genera contaminación, lo que puede tener efectos negativos en la salud pública. Al adoptar sistemas

energéticos autónomos basados en fuentes renovables, se reduce la contaminación del aire y del agua, mejorando así la salud de los habitantes. (WHO, 2016).

Otro efecto positivo de la autonomía energética es el fortalecimiento de la resiliencia de las comunidades frente a crisis energéticas o desastres naturales. Cuando las comunidades generan su propia energía, son menos vulnerables a interrupciones en el suministro y a fluctuaciones en los precios del mercado global. Esta capacidad de adaptación no solo protege a las familias y empresas, sino que también contribuye a la estabilidad social (Rodríguez Padilla, 2018). La autonomía energética también puede fomentar la equidad social al facilitar el acceso a la energía en comunidades marginadas. Los programas de energía renovable a pequeña escala pueden llevar electricidad a zonas rurales que han sido históricamente desatendidas, cerrando así la brecha energética y de oportunidades.

Sin embargo, como mencionan Zachariou y Symeou (2009) para que todos estos beneficios perduren en el tiempo, es esencial incluir la capacitación y educación de los miembros de la comunidad sobre tecnologías limpias y sostenibles. Este proceso no solo incrementa el conocimiento técnico, sino que también promueve una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el uso responsable de los recursos, fomentando un cambio cultural hacia prácticas más responsables. Como afirma Cattaneo y Gavaldá (2010), *"La autonomía energética sólo es posible gracias a un consciente ajuste del consumo de los individuos a la capacidad de generación del sistema"*.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar y comparar la producción de energía eléctrica de diversas fuentes para uso residencial.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Calcular la cantidad de energía necesaria para abastecer la residencia.
- Determinar la producción de energía eléctrica de diversas fuentes para el complejo residencial.
- Comparar la viabilidad económica y técnica de las fuentes.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

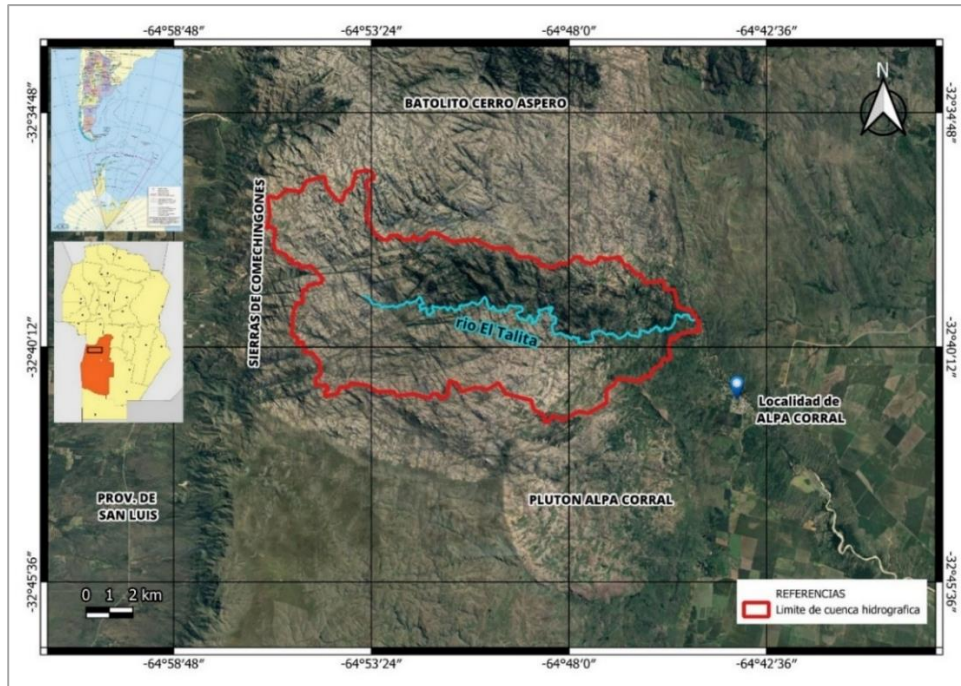
El área de estudio para el presente Trabajo Final de Grado, se ubica en la provincia de Córdoba, en el Norte del Departamento Río Cuarto. Se encuentra a 107 km de la ciudad de Río Cuarto y se accede por la Ruta Provincial (RP) N° 11 hasta la localidad de Alpa Corral, en la zona serrana. Luego se toma la Av. Costanera y se la recorre por unos 7,6 km hacia el NO, hasta llegar a Colonia El Talita. El complejo habitacional se encuentra sobre la margen del río El Talita. Si bien es un club de fútbol de Firmat (Santa Fe), el establecimiento cuenta con 4 habitaciones brindando la posibilidad de poder alojar a 20 personas y posee una cabaña para albergar a 7 personas más. Las mediciones energéticas se realizaron en la totalidad del complejo.

Respecto a las características climáticas, en la región serrana las temperaturas medias son del orden de 16°C, las medias máximas de 20°C y las medias mínimas de 9°C; mientras que, en la llanura del sur de Córdoba, presentan un comportamiento en general más homogéneo, siendo los valores inferiores a 17°C, 25°C y 10°C. En general, en los ambientes serranos se suelen registrar heladas desde el mes de marzo/abril hasta octubre/noviembre, mientras que en la llanura se dan a partir de mayo y hasta septiembre (Capitanelli, 1979; Gorgas *et al.*, 2003; Blarasin, 2003; Dasso *et al.*, 2014). El régimen de precipitaciones es de tipo monzónico, es decir, el 80% de las precipitaciones se concentran en los meses de primavera-verano y el 20% restante en otoño-invierno. En Córdoba, la radiación solar promedio anual es de 16 a 17 MJ/m<sup>2</sup>/día, y la región disfruta de aproximadamente 280 a 300 días soleados al año, según datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Este trabajo se desarrolla sobre la subcuenca del río El Talita, instalada en la región central de la Sierra de Comechingones. Se trata de una subcuenca que forma parte de la cuenca del río Alpa Corral. Geológicamente, aquí se instruye el Batolito Cerro Áspero, que está integrado por tres plutones: Plutón Los Cerros en el sector Norte, Plutón El Talita en la región central y Plutón Alpa Corral en el sector Sur (Fig. 7). Esta subcuenca es la de mayor superficie (105,6 km), posee forma elongada y drena rocas del plutón El Talita. Presenta un patrón de drenaje angular-rectangular y un dominio de canales de lecho rocoso. El colector principal corresponde al río El Talita y tiene una longitud de 17,5 km hasta la unión con el río Las Moras (Benito M., 2024).

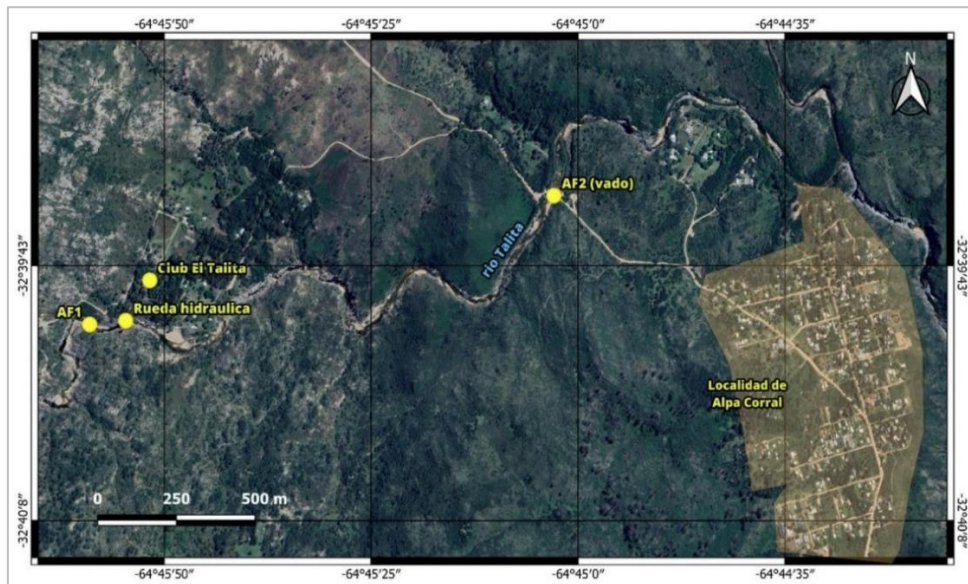
Si bien el sitio de estudio no se encuentra tan alejado del pueblo de Alpa Corral, no dispone de acceso al tendido eléctrico, por lo que se encuentra aislado de la red. Asimismo, cuenta con el recurso de un río que circula por mediaciones del complejo, que lo hace un recurso primordial para abastecerse de energía eléctrica mediante el uso de una rueda hidráulica (Fig. 8). En la actualidad, el complejo habitacional cuenta con un sistema integral de generación y almacenamiento de energía que incluye una rueda hidráulica conectada a un dique de contención. Este dique permite almacenar agua que, a través de la rueda hidráulica, se utiliza para generar energía de manera eficiente y sostenible. Además, el complejo está equipado con un sistema de 8 paneles solares que aprovechan la energía del sol para complementar la generación de electricidad. Estos dos sistemas trabajan en

conjunto para abastecer un banco de baterías, lo que garantiza un suministro de energía continua al complejo, incluso durante períodos sin generación directa.



**Figura 7:** Ubicación de la cuenca hidrográfica del río El Talita, Alpa Corral, Córdoba.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 8:** Ubicación del sitio de estudio. Alpa Corral (Córdoba).

**Fuente:** Elaboración propia.

Para asegurar la estabilidad del suministro energético, especialmente en momentos donde la energía almacenada no es suficiente o las condiciones climáticas afectan la generación solar o hidráulica, el complejo también dispone de un grupo electrógeno. Este generador se activa cuando

la capacidad de almacenamiento de las baterías es insuficiente, proporcionando una fuente adicional de energía que permite mantener el funcionamiento del complejo sin interrupciones. Este enfoque híbrido y flexible no solo optimiza el uso de recursos renovables, sino que también asegura la autosuficiencia energética del complejo, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo la dependencia de fuentes externas de energía.

## **4.2 METODOLOGÍA**

La metodología que se empleará está diseñada para abordar los objetivos planteados de manera estructurada, eficiente y coherente. Se utilizará un enfoque mixto que combina métodos cualitativos y cuantitativos, lo que permitirá obtener una visión integral del tema de estudio. El objetivo de esta metodología es garantizar que la investigación sea lo suficientemente rigurosa como para ofrecer resultados válidos y relevantes, a la vez que se adapte a las necesidades y características del problema planteado.

A lo largo de este trabajo, se empleará la recolección de datos, análisis e interpretación que contribuirán al logro de cada uno de los objetivos. La investigación se llevará a cabo en varias fases, comenzando por la recopilación de información bibliográfica y teórica, seguida de la aplicación de las herramientas necesarias para la recopilación de datos empíricos. Posteriormente, se procederá a la interpretación de los datos obtenidos, utilizando técnicas de análisis estadístico, modelos teóricos o herramientas cualitativas, según corresponda.

A continuación, se detallará cómo se llevará a cabo el desarrollo de cada objetivo, explicando las metodologías y técnicas específicas que se utilizarán en cada fase del proceso de investigación.

- **Cálculo de energía**

Para realizar el cálculo de la energía necesaria para abastecer el complejo habitacional de este trabajo, es necesario conocer los consumos del lugar y así poder contabilizarlos. Lo óptimo es utilizar el valor de demanda energética máxima que puede llegar a necesitar el complejo en su momento de ocupación total, y así estimar con cuanta energía se abastece dicha demanda. Con esta información ya se puede llevar adelante los cálculos de la parte energética, siendo que la rueda hidráulica, los paneles solares instalados en el techo y el grupo electrógeno son las 3 fuentes de abastecimiento del sitio.

Es importante señalar que los tres sistemas de generación de energía alimentan un banco de baterías, a través del cual toda la energía se distribuye hacia el complejo habitacional. En situaciones donde no hay radiación solar, como durante la noche o en días muy nublados, es crucial que las baterías cuenten con una carga previa. A esto se suma la contribución de la rueda hidráulica, que aporta energía en momentos en que la energía solar no está disponible. Cuando la energía solar y la hidráulica no pueden abastecer la demanda, el grupo electrógeno es el encargado de cargar completamente el banco de baterías, garantizando así el suministro de energía al complejo.

- **Demanda energética del complejo**

Para determinar el sistema necesario para cubrir la demanda energética del complejo, se comenzó realizando la planilla de carga eléctrica que consta de un listado de todos los electrodomésticos presentes en el lugar. A partir de esta lista, se elaboró una tabla que muestra la potencia máxima que podría requerirse en caso de utilizar todos los electrodomésticos de manera simultánea. Aunque esto es poco probable, es fundamental que el sistema esté diseñado para garantizar que siempre haya suficiente energía disponible para cubrir esa demanda máxima. El complejo habitacional ya cuenta con todas las comodidades necesarias, por lo que su consumo energético es bastante constante, con variaciones mínimas.

- **Cálculo de Energía Solar**

El cálculo de la energía solar generada por un sistema de paneles solares en una vivienda depende de varios factores clave. En primer lugar, se determina la potencia nominal total de los paneles instalados, la cual indica la cantidad máxima de energía que pueden producir en condiciones ideales.

Para estimar la generación de energía en sistemas fotovoltaicos, se utiliza el concepto de Horas Equivalente Día (HED), que representa la cantidad de horas en las que la irradiancia solar sería equivalente a  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Este valor permite expresar la energía solar diaria como si fuera entregada en un período de irradiancia constante, simplificando así los cálculos de producción energética.

Este mismo concepto es ampliamente conocido en la bibliografía técnica y comercial como Horas Sol Pico (HSP) (Peak Sun Hours, en inglés). Sin embargo, en el presente trabajo se utilizará la denominación HED, aunque ambos términos son equivalentes y pueden usarse indistintamente para interpretar los resultados.

A continuación, se estima la cantidad de horas equivalente día de sol (HED) en la ubicación específica de la vivienda. Estas representan la radiación solar efectiva que llega al suelo durante un día, expresada como el número de horas en que la irradiancia es equivalente a  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Este dato puede obtenerse de bases confiables como la base de datos de la NASA, que permite una estimación precisa de la radiación solar en función de la latitud y longitud del sitio. Con esta información, se calcula la energía diaria generada, multiplicando la potencia total del sistema por las HED correspondientes. Para dimensionar el sistema de forma conservadora, se utiliza el valor de HED del día más desfavorable del año, es decir, aquel con menor radiación solar.

Si se desea estimar la producción anual, se emplea un promedio de las HED mensuales del año, lo que permite proyectar la energía que el sistema puede generar en promedio a lo largo del tiempo. Es fundamental tener en cuenta la eficiencia real del sistema, ya que factores como pérdidas por el inversor, temperatura, cableado o acumulación de suciedad en los paneles pueden reducir la energía útil disponible.

Además de la potencia del sistema y las HED disponibles, la inclinación y orientación de los paneles solares desempeñan un papel crucial en el aprovechamiento óptimo de la radiación solar. Para maximizar la captación de energía, los paneles deben orientarse idealmente hacia el sur en el hemisferio norte (y hacia el norte en el hemisferio sur), ya que esta disposición permite recibir la mayor cantidad de radiación solar a lo largo del día. Asimismo, la inclinación de los paneles respecto a la horizontal debe ajustarse en función de la latitud del lugar, con el objetivo de optimizar el ángulo de incidencia solar durante todo el año. Una orientación o inclinación incorrectas pueden disminuir significativamente la producción energética del sistema, incluso si la radiación disponible es elevada. Por ello, una adecuada instalación desde el punto de vista geométrico es fundamental para asegurar un rendimiento eficiente del sistema fotovoltaico.

Finalmente, la energía solar generada se puede proyectar a nivel mensual o anual multiplicando la energía diaria ajustada por el número de días correspondientes. De esta manera, se obtiene una estimación bastante precisa de la producción solar del sistema, lo que permite evaluar si será suficiente para cubrir las necesidades energéticas del hogar.

- **Cálculo de Energía Hidráulica**

Conociendo la rueda hidráulica ya instalada y sabiendo su potencia, se puede calcular cuánta energía puede proporcionar el movimiento del agua. Esto depende de varios factores, pero asumiendo que la parte técnica de la rueda está en condiciones óptimas, se debe calcular el caudal del arroyo. Este dato es fundamental para estimar la energía que puede generar el sistema hídrico a lo largo del año. Si bien existe un pequeño dique que almacena agua y regula en parte el flujo, el caudal del arroyo puede variar según las estaciones del año debido a las diferencias en las precipitaciones. Por lo tanto, la producción de energía no es constante, y se deben considerar estos cambios estacionales para calcular su aporte energético anual de forma más precisa.

Para calcular la potencia hidráulica disponible, se considera la altura de caída y la eficiencia de la rueda hidráulica. Esto permitirá determinar la cantidad de energía que se puede generar en función del flujo del río durante un periodo de tiempo determinado. Es importante tener en cuenta que la variabilidad del caudal, influenciada por factores estacionales y climáticos, afectará la producción de energía, por lo que se deben realizar estimaciones para diferentes escenarios (por ejemplo, durante épocas de sequía o en temporada de lluvias).

Una vez calculada la potencia generada por la rueda hidráulica, se procede a estimar la producción de energía en función de la cantidad de agua que fluye a través del sistema en un intervalo de tiempo específico. Para esto se determinó el caudal líquido realizado en una sección del río y se estimó la velocidad de flujo con el método del flotador. Se ajustó con el método de la sección media. En la sección transversal del curso de agua se midió el ancho (A), la profundidad (p) y la velocidad de flujo (v). La velocidad fue determinada en el talweg (sector de mayor profundidad/velocidad). Se obtuvieron también otras mediciones de caudal que fueron proporcionados por investigadoras de la UNRC (Benito, 2024). El cálculo de producción de energía

permite evaluar la capacidad del sistema para generar electricidad, y también planificar su integración con otras fuentes de energía, como la solar, en un sistema híbrido, maximizando la eficiencia del suministro energético durante todo el año. Además, es esencial evaluar la viabilidad del sistema a largo plazo, considerando factores como el mantenimiento, la durabilidad de la infraestructura y las variaciones en el caudal del río a lo largo del tiempo.

En resumen, la metodología de producción de energía hidráulica en este caso incluye la medición del caudal del río, el análisis de la eficiencia del sistema hidráulico y el cálculo de la potencia y energía generada, datos que permiten obtener estimaciones anuales y de largo plazo.

- **Cálculo de banco de baterías para almacenamiento de energía**

El cálculo del almacenamiento de energía en un banco de baterías (Fig. 9) es un proceso crucial, especialmente cuando la fuente de energía proviene de una combinación de sistemas como una rueda hidráulica, paneles solares y, en casos de necesidad, un grupo electrógeno. Este cálculo implica considerar varios factores interrelacionados que afectan el rendimiento y la eficiencia del sistema energético. Entre los aspectos a tener en cuenta se encuentran la eficiencia de la rueda hidráulica, la capacidad de generación de los paneles solares, la conversión de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA), y las pérdidas de energía debidas al rozamiento en las cañerías. Estos factores son esenciales, ya que representan energía que no se aprovecha completamente y deben ser optimizados para garantizar un suministro continuo.

Este cálculo se basa en la cantidad de energía generada por las fuentes disponibles en el complejo, asegurando que el banco de baterías pueda abastecer al complejo durante un período de tres días, incluso en circunstancias donde las fuentes generadoras no estén disponibles. De esta forma, se busca garantizar la autosuficiencia energética y la estabilidad del suministro, sin depender de fuentes externas, como es el grupo electrógeno.



**Figura 9:** Sistema de baterías del complejo habitacional.

- **Comparación de las fuentes energéticas en cuanto a su viabilidad económica y energética.**

Para llevar a cabo esta comparación, se elaboró una tabla que resume de manera clara las principales diferencias entre ambos sistemas: por un lado, el sistema renovable, compuesto por la rueda hidráulica y los paneles solares, y por otro, el sistema no renovable o convencional, representado por el grupo electrógeno. La tabla aborda aspectos clave en términos económico, energéticos y ambientales, permitiendo evidenciar cómo ambos sistemas impactan estos tres ámbitos de manera distinta.

Este tercer objetivo consta en analizar las diferencias en términos de tecnología energética, aspectos económicos e impacto ambiental de cada fuente, para poder determinar cuál es más viable y sostenible en el largo plazo.

## **5. MARCO LEGAL**

Cuando se hace referencia al marco legal se refiere al conjunto de leyes y reglamentos que indican los límites y las bases sobre las que una persona o una institución puede actuar. Diciendo esto, en el ámbito energético hay determinadas disposiciones a cumplir dentro del territorio que ampara la Constitución Nacional Argentina. Esta ley fundamental y suprema establece algunos derechos y garantías a cumplir cuando se trabaja con sistemas energéticos.

**Ley N° 27.191:** Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica, Sancionada en el año 2015, establece como objetivo lograr un abastecimiento del 20% de la energía eléctrica nacional, mediante la contribución de fuentes renovables para el año 2025. Además de la creación del Fondo Fiduciario Público denominado “Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables” (FODER), destinado al otorgamiento de préstamos, aportes de capital e inversión a aquellos proyectos que se destinen a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Boletín oficial- Ley 27.191.

**Ley N° 27.424:** sancionada en 2017, establece un régimen de fomento para la generación distribuida de energía renovable en Argentina. Esta ley aplica en la generación de energía a partir de fuentes renovables que se realiza en el lugar de consumo, como hogares, edificios y empresas. Permite a los usuarios generar su propia energía y, en caso de producir más de lo que consumen, inyectar el excedente a la red eléctrica, recibiendo un crédito que puede ser descontado en futuras facturas. Boletín oficial-Ley 27.424.

Estas leyes buscan aumentar la inversión en energías limpias, reducir la dependencia de combustibles fósiles y contribuir a la sostenibilidad ambiental en el país.

**Ley N° 5589.** Código Provincial de Aguas: rige en la provincia para el aprovechamiento, conservación y defensa contra los efectos nocivos de las aguas, álveos, obras hidráulicas y las limitaciones al dominio en interés de su uso. En el Título V de Uso Energético, los artículos 122 al 125, definen el otorgamiento de concesiones para uso energético cuando se emplee la fuerza del agua para uso cinético directo (rueda, turbina, molinos) para generación de electricidad.

## 6. IMPACTO AMBIENTAL

Cuando se habla de impactos se refieren a las consecuencias o efectos que una acción, evento o situación puede tener sobre algo o alguien. Los impactos pueden ser tanto negativos como positivos, dependiendo del contexto y de cómo afectan a los individuos, comunidades, o al entorno (García-Astillero, 2018).

La generación de energía a partir de fuentes convencionales tiene un enorme impacto en el entorno, tanto positivo por la generación y por cubrir las demandas energéticas de la sociedad, pero también negativo referido al daño generado al ambiente para obtener esa energía. Es por lo que las Energías Renovables (EERR) se presentan como la alternativa sostenible y ecológica que vela por el cuidado del planeta. Actualmente la energía eléctrica es una necesidad de primer orden y no podemos prescindir de ella. La necesidad imperiosa de generar electricidad de cualquier forma conlleva un impacto medioambiental catastrófico a nivel mundial, por ende, debemos conseguir energía de una manera sostenible para un futuro respetuoso con el medioambiente. Cada día, se continúa trabajando en la transición de las matrices energéticas de los países para aumentar la participación de las EERR en su combinación energética. Sin embargo, es importante destacar que, aunque las EERR tienen un impacto ambiental significativamente menor en comparación con las fuentes convencionales, no están exentas de generar ciertos efectos negativos. Por ejemplo, la construcción de infraestructuras para energía eólica o solar puede alterar ecosistemas locales, y la generación hidroeléctrica puede afectar el equilibrio de los cuerpos de agua. A pesar de estos impactos, las EERR deben aumentar su presencia en la matriz energética debido a sus beneficios ambientales, pero no pueden ser utilizadas de manera plena y exclusiva en la actualidad. Esto se debe a la intermitencia de fuentes como la solar y la eólica, que dependen de factores climáticos impredecibles, así como a las limitaciones actuales en almacenamiento de energía, lo que hace indispensable contar con energías convencionales como respaldo para asegurar un suministro confiable y constante. En consecuencia, la combinación de fuentes renovables y convencionales sigue siendo la mejor opción para lograr una transición energética ordenada y sostenible. (Sovacool, 2010).

Las energías renovables tienen el propósito de impactar de manera positiva en el medio ambiente, siendo una de las principales soluciones para lograr la reducción de la huella de carbono del planeta. A razón se consideran varios fundamentos para pensar en las E.E.R.R, como la única salida posible ante esta situación ambiental. Por un lado, pensar en los efectos del calentamiento global que están sobrepasando los límites, produciendo fenómenos naturales cada vez más extremos y alterando el equilibrio del planeta. La energía renovable tiene un impacto significativo, ya que logra recuperar los ecosistemas, disminuye el calentamiento global y permite el aumento de la calidad de vida. Este tipo de energía no se agota, esto garantiza que las futuras generaciones no tengan que sufrir por el agotamiento de las fuentes naturales. Otro punto a favor es que todos los países cuentan con la capacidad de generar fuentes de energía renovable, dependiendo cada uno de sus territorios. Para algunos será el viento, para otros el agua o el sol. Con una generación de energía renovable, los países no estarán a la merced de quien les suministre este recurso, evitando alguna crisis energética. Por último, la energía renovable permite la creación de más empleo, ya

que, para organizar los diferentes modelos energéticos y garantizar su mantenimiento, se debe invertir en capital humano. Las energías renovables logran mantener el equilibrio de nuestro planeta, fomentando un presente sostenible para un futuro limpio (Renewable Power Generation Costs, 2019, IRENA, 2020).

### **6.1 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA**

El desarrollo de este tipo de energía conlleva cierto coste ambiental y social. Entre las consecuencias negativas, en especial en proyectos a gran escala, se pueden mencionar impactos negativos como deforestación, impacto en la vida acuática y el desplazamiento de pequeñas poblaciones localizadas en cercanías al curso hídrico aguas arriba (Poff y Zimmerman, 2010).

La construcción de presas y el estancamiento del agua puede alterar la calidad de la misma, desde el punto de embalse hasta la desembocadura del río. Los principales riesgos son la reducción del oxígeno en agua, cambios en la temperatura, estratificación de los sedimentos y mayor proliferación de enfermedades. En la mayoría de las represas hidráulicas se provocan cambios en la hidrología y el entorno del río, afectando de manera global a la biodiversidad. Este hecho afecta no solo a la fauna, sino también a las actividades humanas que se desarrollan en el río (Maingi & Marsh, 2002). Pero todos estos impactos negativos son realmente considerables en el uso de represas hidroeléctricas de gran escala, lo que convierte a las represas de pequeña escala como una buena opción por su casi nulo impacto en el ambiente.

### **6.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA SOLAR**

La utilización de la energía solar, basada en la generación a partir de paneles solares, ofrece beneficios significativos en términos de energía limpia y reducción de emisiones. Sin embargo, también presenta ciertos impactos negativos. La fabricación de paneles solares genera desechos tóxicos y residuos industriales. Algunos de los materiales utilizados, como el cadmio y el silicio, pueden ser perjudiciales si no se gestionan adecuadamente. La extracción de estos minerales puede causar daños ambientales, incluyendo la degradación de ecosistemas y la contaminación del agua. Además, la producción de paneles solares requiere una cantidad considerable de energía, lo que puede contrarrestar algunos de los beneficios ambientales si dicha energía proviene de fuentes no renovables. Las grandes instalaciones solares ocupan extensas áreas de tierra, lo que puede afectar la biodiversidad y los ecosistemas locales, especialmente si se instalan en tierras agrícolas o áreas naturales. Aunque los paneles solares tienen una vida útil prolongada, su reciclaje al final de su ciclo de vida puede ser complicado y costoso, muchos de ellos terminan en vertederos. A pesar de estos impactos, muchos de ellos pueden ser mitigados mediante prácticas sostenibles y tecnologías más limpias en la producción y el reciclaje de paneles solares (Fu *et al.*, 2021).

### **6.3 IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE GRUPO ELECTRÓGENO**

Al momento de cubrir una demanda energética en una zona aislada, sin posibilidad que sea de una fuente renovable termina siendo la única salida optar por el uso de Grupo Electrónico (GE). Como se sabe, hay diversos tipos de grupos electrónico los más conocidos son a Diesel o Gasolina, también se puede clasificarlos en monofásicos o trifásicos. Dependiendo del tipo de corriente pueden ser de corriente alterna (CA), siendo en una sola fase, que es lo más común para las aplicaciones residenciales o pueden ser trifásicos, entregando CA en tres fases adecuados para industriales y comerciales. Todos los GE comparten una característica: pueden resultar molestos debido al ruido que generan. Además, al funcionar principalmente con combustibles fósiles, su uso tiene un impacto significativo en el medio ambiente, ya que emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y otras partículas contaminantes. Las emisiones de gases a la atmósfera constituyen un impacto directo sobre la calidad del aire, que es el que recibe dichas emisiones y un impacto indirecto sobre el agua, el suelo, la vegetación y la fauna, debido al retorno de parte de estos contaminantes a la tierra, por deposición seca o húmeda, además del conocido efecto invernadero, principalmente del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, que se comporta como un filtro ante la radiación solar, ya que deja pasar el calor hacia el interior, pero no hacia el exterior (Gutiérrez, 2015).

En este trabajo, el complejo residencial cuenta con un grupo electrónico marca Daihatsu GES7500ED, que funciona a diésel. Este modelo tiene una capacidad de tanque de 16 L y autonomía declarada de ~10 h bajo condiciones continuas de operación, lo que implica un consumo aproximado de 1,6 L/h de combustible. Considerando que la combustión de diésel genera alrededor de 2,65 kg de CO<sub>2</sub> por litro quemado, el generador emitiría unos 4,24 kg CO<sub>2</sub> por hora de operación continua (IPCC, 2006). En un período de uso prolongado (por ejemplo 5 horas), las emisiones superarían los 21 kg de CO<sub>2</sub>. Además, hay emisiones asociadas a partículas y óxidos de nitrógeno, y un nivel de ruido de 70 dB (EEA, 2019), que debe tenerse en cuenta en su ubicación.

Estos valores muestran que, aunque el generador puede cubrir déficits energéticos, su uso frecuente tiene impactos ambientales significativos. Por lo tanto, su activación debería limitarse a emergencias, optando siempre que sea posible por fuentes renovables.

## **7. RESULTADOS**

En el presente apartado de resultados, se exponen los hallazgos obtenidos a partir de la evaluación y comparación de la generación de energía eléctrica a partir de tres fuentes distintas para una vivienda: energía solar, energía hidráulica y energía convencional (grupo electrónico).

### **7.1. DEMANDA ENERGÉTICA DEL COMPLEJO**

Para llevar a cabo los cálculos necesarios, es fundamental conocer la demanda energética total del complejo, que debe ser cubierta por las fuentes de energía disponibles. Para ello, se realizó un relevamiento detallado de todos los electrodomésticos y artefactos que consumen electricidad en el sitio de estudio y se elaboró la siguiente tabla 5.

**Tabla 5:** Consumo energético del complejo habitacional.

| Consumo complejo habitacional |                  |          |                  |                       |                       |
|-------------------------------|------------------|----------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Artefacto                     | Potencia (Watts) | Cantidad | Hs de uso diario | Energía Total kWh/día | Energía Total kWh/mes |
| Lavarropas                    | 800              | 1        | 0,5              | 0,40                  | 12,00                 |
| Equipo de musica              | 80               | 1        | 4                | 0,32                  | 9,60                  |
| Heladera inverter c/freezer   | 115              | 3        | 4                | 1,38                  | 41,40                 |
| Televisor 50" Led             | 90               | 1        | 4                | 0,36                  | 10,80                 |
| Televisor 47" Led             | 90               | 1        | 4                | 0,36                  | 10,80                 |
| Luces de emergencia           | 20               | 6        | 1                | 0,12                  | 3,60                  |
| Cargadores de celular         | 10               | 10       | 3                | 0,30                  | 9,00                  |
| Planchita de pelo             | 40               | 1        | 1                | 0,04                  | 1,20                  |
| Secador de pelo               | 1500             | 1        | 0,15             | 0,23                  | 6,75                  |
| Lamparas led 7w               | 7                | 15       | 6                | 0,63                  | 18,90                 |
| Lamparas Led 10w              | 10               | 30       | 6                | 1,80                  | 54,00                 |
| Lamparas Led 30w              | 30               | 10       | 6                | 1,80                  | 54,00                 |
| Reflector Led 40w             | 40               | 6        | 6                | 1,44                  | 43,20                 |
| Internet                      | 75               | 1        | 24               | 1,80                  | 54,00                 |
| Notebook                      | 22               | 2        | 2                | 0,09                  | 2,64                  |
| Consumo total                 | 4229             |          |                  | 11,06                 | 331,89                |

Fuente: Consumo Básico de Electrodomésticos, 2024b.

De acuerdo con el relevamiento y los cálculos obtenidos, la demanda energética del complejo a cubrir es de **11,06 kWh/día**.

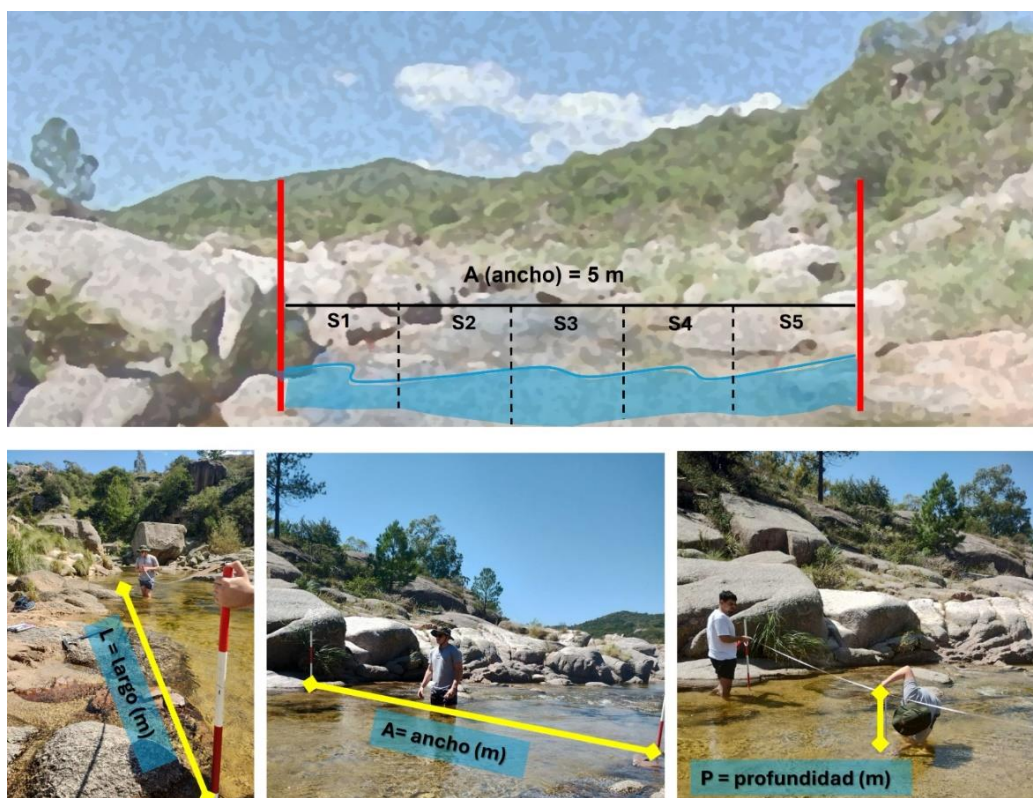
## 7.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LAS FUENTES RENOVABLES

### 7.2.1. Cálculo de caudal del río El Talita

Para conocer el caudal líquido del río El Talita se realizó un aforo durante el mes de marzo del 2024 y se obtuvieron algunos datos hidrológicos medidos en años anteriores, proporcionados por estaciones meteorológicas pertenecientes a la UNRC. El aforo (AF1) llevado a cabo por el tesista, se realizó en una sección del río aguas arriba de la ubicación de la rueda hidráulica (Fig. 9 y 10). Los cálculos obtenidos se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6:** Datos de sección de aforo (AF1) realizado por el tesista.

| AFORO RIO EL TALITA - ALPACORRAL - Fecha 12/03/24 |         |                 |                                |                                    |                                      |
|---|---------|-----------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Aforo   | Sección | Profundidad (m) | Área sección (m <sup>2</sup> ) | Velocidad media (m/seg)            | Caudal parcial (m <sup>3</sup> /seg) |
| AF1   | S1      | 0,400           | 0,400                          | 0,442                              | 0,177                                |
| AF1   | S2      | 0,510           | 0,510                          | 0,442                              | 0,226                                |
| AF1   | S3      | 0,520           | 0,520                          | 0,442                              | 0,230                                |
| AF1   | S4      | 0,420           | 0,420                          | 0,442                              | 0,186                                |
| AF1   | S5      | 0,350           | 0,336                          | 0,442                              | 0,149                                |
| Área Total (m <sup>2</sup> )                      |         |                 | 2,186                          | Caudal total (m <sup>3</sup> /seg) | 0,967                                |
| Tiempo medio (seg)                                |         |                 | 13,56                          |                                    |                                      |



**Figura 10:** Perfil transversal y fotografías de la sección de aforo (AF1) del rio El Talita.

En la tabla 7 se muestran datos de caudales de años anteriores tomados por el grupo de investigación de la UNRC (Benito, 2024) y el dato medido por el tesista.

**Tabla 7:** Datos de aforo medidos en el río El Talita.

| Fecha     | Aforo | Zona de aforo              | Método de cálculo velocidad | Condición | Caudal (m³/seg) |
|-----------|-------|----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------|
| 26/2/2021 | AF2   | Vado                       | Molinete                    | Normal    | 0,77*           |
| 16/2/2022 | AF2   | Vado                       | Molinete                    | Normal    | 0,31*           |
| 10/8/2022 | AF2   | Vado                       | Molinete                    | Estiaje   | 0,21*           |
| 5/3/2022  | AF2   | Vado                       | Est. Manning                | Crecida   | 386,84*         |
| 5/4/2023  | AF2   | Vado                       | Molinete                    | Estiaje   | 0,72*           |
| 12/3/2024 | AF1   | Aguas arriba R. Hidráulica | Flotador                    | Normal    | 0,96^           |

(\*) Fuente: datos de las estaciones meteorológicas de UNRC (tomado de Benito, 2024)  
 (^) Dato medido por el tesista

### 7.2.2. Cálculo de la energía hidráulica

La energía hidráulica del complejo se genera a partir de una pequeña presa ubicada sobre el río Talita. El agua se embalsa unos metros río arriba de la rueda hidráulica, lo que permite mantener un flujo constante hacia la misma. La represa tiene aproximadamente 20 m de ancho y una profundidad entre 2,5 y 3 m (Fig. 11). Además, la infraestructura incluye un canal paralelo para garantizar el paso de los peces sin inconvenientes. En cuanto al proceso de transformación energética, la energía potencial (E.P.) se convierte inicialmente en energía cinética (E.C.), para luego transformarse en energía eléctrica (E.E.), a través de un sistema compuesto por ejes, engranajes y un generador. Con los datos recabados, se obtiene la información del caudal promedio y esto permite calcular la potencia que brinda la rueda hidráulica. Para este cálculo se considera

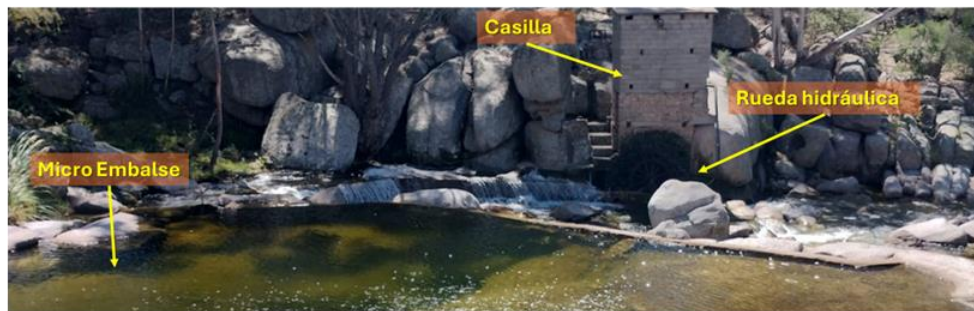
- La potencia máxima posible usando el caudal total
- La fracción de ese caudal que llega a la rueda, teniendo en cuenta la eficiencia del conducto.
- La eficiencia de la rueda hidráulica.

La fórmula básica para la potencia hidráulica máxima es:

$$P_{\max} = \rho \cdot g \cdot Q_{\text{total}} \cdot h$$

Donde:

- $P_{\max}$  = Potencia máxima disponible (en W o kW)
- $Q_{\text{total}}$  = Caudal total en el río, es decir, el caudal que se ha medido en la entrada del dique (en m³/s).
- $h$  = Desnivel o altura de caída del agua desde el dique hasta la rueda (en metros).
- $\rho$  = Densidad del agua (aproximadamente 1000 kg/m³).
- $g$  = Gravedad (aproximadamente 9.81 m/s²).



**Figura 11:** Ubicación de rueda hidráulica, el micro embalse y los saltos de agua. Punto de sección del aforo (AF1)

### 7.2.3 Determinación de los coeficientes hidráulicos y eficiencia de la rueda

Para el dimensionamiento del sistema hidráulico se adoptaron coeficientes de rendimiento basados en valores reportados en la literatura para ruedas hidráulicas de bajo salto (low head). Según Quaranta y Müller (2017), la eficiencia máxima de las ruedas Sagebien y Zuppinger puede alcanzar valores del orden del 80–85 % en condiciones óptimas de operación. Sin embargo, en el caso del micro embalse instalado en el complejo El Talita, las condiciones reales difieren significativamente de las ideales.

El canal de derivación presenta pérdidas laterales de agua y filtraciones a lo largo de su recorrido, además de obstrucciones y acumulación de sedimentos que reducen el caudal efectivo. Las rejas superiores no se mantienen completamente limpias, lo que incrementa la pérdida de carga en la entrada. Asimismo, el perfil del chorro que impacta sobre la rueda contiene aire debido a la incorrecta construcción del canal de alimentación, afectando el aprovechamiento hidráulico.

Por otro lado, la rueda no se encuentra completamente sumergida en la posición óptima y el sistema de transmisión —compuesto por engranajes, cadenas y acoples intermedios— presenta múltiples etapas mecánicas que incrementan las pérdidas por fricción. Además, el generador acoplado es de tipo antiguo, con un sistema de rectificación deficiente y notables variaciones en la entrega de energía.

Teniendo en cuenta estas condiciones reales de funcionamiento, se adoptaron coeficientes de rendimiento conservadores para el cálculo de la energía generada:

- Coeficiente del conducto: 0,41
- Rendimiento de la rueda hidráulica: 0,327

Es importante señalar que los coeficientes de rendimiento utilizados (0,41 para el conducto y 0,327 para la rueda hidráulica) fueron determinados a partir de una combinación de valores de referencia bibliográficos (Quaranta & Müller, 2017) y las condiciones reales de operación observadas en la instalación.

Para garantizar una representación más precisa del comportamiento del sistema hidráulico en su estado actual, se llevó a cabo una calibración empírica basada en la potencia efectiva proporcionada en la ficha técnica del sistema. De esta manera, los valores obtenidos reflejan de manera adecuada las pérdidas del sistema, permitiendo una estimación más realista de la producción energética del conjunto hidráulico en su configuración actual.

El caudal promedio anual de esta zona del río es de 0,594 m<sup>3</sup>/s. Teniendo en cuenta que, del caudal total calculado, solo un 35% - 40% es utilizado por la rueda para producir energía, ya que el resto se pierde en el curso de agua. Ese porcentaje representa un valor de caudal líquido entre 0,386 m<sup>3</sup>/s - 0,35 m<sup>3</sup>/s.

El cálculo estimativo aplicando los rendimientos sería:

$$P_{\text{máx}} = \rho \times g \times Q \times h$$

$$P_{\text{máx}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,386 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,2 \text{ m}$$

$$P_{\text{máx}} = 4539,36 \text{ W}$$

Rendimiento de conducto 0,41

Rendimiento de rueda 0,327

$$\text{Potencia} = 613,04 \text{ W}$$

Según la ficha técnica de la rueda hidráulica la producción de energía es de **14,4 kWh/día** (Tabla 8).

**Tabla 8:** Energía producida por la rueda hidráulica.

| Tabla de producción Rueda hidráulica |               |          |                  |                       |                       |
|--------------------------------------|---------------|----------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Artefacto                            | Potencia (kW) | Cantidad | Hs de producción | Energía Total kWh/día | Energía Total kWh/mes |
| Rueda Hidráulica                     | 0,6           | 1        | 24               | 14,4                  | 432                   |

Fuente: Elaboración propia

#### 7.2.4. Cálculo de energía solar

El sitio de estudio se encuentra localizado entre las coordenadas -32.662206103836276 de Latitud y -64.76447472628193 de Longitud. La ubicación espacial permite saber la radiación de la zona y estimar que producción de energía se puede obtener con los paneles fotovoltaicos. Utilizando información de la página de la NASA, se puede estimar si el sitio es apropiado para el uso de paneles solares.

La irradiancia promedio que llega al suelo en esta zona de Córdoba es de aproximadamente 1,2 kW x m<sup>2</sup>. Esta radiación no se aprovecha al 100%, ya que existen diversos factores que limitan la captación efectiva de la energía solar, tales como la inclinación y orientación de los paneles, sombras de elementos naturales o construidos, pérdidas por reflexión y condiciones atmosféricas variables.

Otro aspecto clave a considerar es la declinación solar ( $\delta$ ), que representa el ángulo entre los rayos del Sol y el plano del ecuador terrestre. Este valor varía a lo largo del año entre +23,45° y -23,45° debido a la inclinación del eje de la Tierra, y determina la altura aparente del Sol sobre el horizonte. Conocer la declinación permite calcular la inclinación óptima ( $\beta$ ) de los paneles fotovoltaicos, de modo de maximizar la captación de energía solar.

Una fórmula comúnmente utilizada para calcular la declinación solar diaria es la de Cooper (1969):

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (n - 81)\right)$$

donde  $n$  es el día juliano (1 = 1 de enero).

En la localidad de Alpa Corral (latitud 32,69° S), se adopta como criterio general que la inclinación anual de los paneles debe ser aproximadamente igual a la latitud del lugar, es decir,  $\beta \approx 33^\circ$ . Existen variantes que optimizan según la estación: en verano se recomienda disminuir la inclinación en unos 10–15° ( $\approx 18^\circ$ ), mientras que en invierno se aconseja aumentarla en la misma magnitud ( $\approx 48^\circ$ ).

En este estudio, con el fin de simplificar el análisis y considerando que ya se aplicó un factor de pérdidas global del 20% (que contempla desviaciones de orientación e inclinación), se adopta un ángulo de 30° como inclinación fija de los paneles para el cálculo de la energía solar disponible en el sitio (ver en anexo, fotos 7,8 y 9, inclinación paneles).

La ficha técnica del panel solar especifica que, bajo condiciones estándar de prueba (STC) —irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula de 25 °C y masa de aire (AM) 1,5—, el panel alcanza su potencia nominal máxima. En la práctica, durante la operación normal (Normal Operating Conditions, NOC), los paneles se encuentran con irradiancias menores y temperaturas de funcionamiento diferentes, por ejemplo 800 W/m<sup>2</sup> y 20–35 °C. Estas condiciones provocan una reducción de la potencia generada con respecto al valor nominal, debido principalmente a la dependencia de la eficiencia del panel con la temperatura y la irradiancia incidente.

El sistema actualmente se encuentra instalado con los 8 paneles conectados en paralelo, de manera que se mantiene el mismo voltaje y se suma al amperaje. La mitad de los paneles está conectada a un regulador más antiguo y la otra mitad a un regulador digital.

El sistema completo tiene una potencia nominal de 2,7 kW bajo condiciones estándar de prueba (STC) conformada por:

- 2 paneles solares de 275W
- 4 paneles solares de 345W
- 2 paneles solares de 385W

Para el cálculo se debe tener en cuenta el peor mes del año, que es julio en cuanto a radiación, por lo que se tiene 3,5 Horas Equivalente Día (HED). La energía diaria generada se calcula multiplicando la potencia total que es de 2,7 kW x las HED:

$$\begin{aligned} \text{Energía diaria (kWh)} &= \text{Potencia total (kW)} \times \text{HED} \\ \text{Energía diaria} &= 2,7 \text{ kW} \times 3,5 \text{ HED} = \mathbf{9,45 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Se tienen en cuenta factores como la temperatura, la orientación, inclinación de los paneles y la limpieza de los mismos, que afectan la eficiencia del sistema. Esto permite estimar que la eficiencia se reduce a un 80%. Entonces,

$$\text{Energía diaria} = 9,45 \text{ kWh} \times 0,80 = \mathbf{7,56 \text{ kWh}}$$

La instalación fotovoltaica suministra 7,56 kWh diarios al complejo El Talita, considerando una eficiencia del 80% y las horas equivalentes sol (HED) correspondientes al invierno. Durante el verano, la producción energética será mayor, lo que permitirá aprovechar el excedente para otras actividades, como el riego, el bombeo de agua y diversas tareas que requieran energía. Este sobrante puede ser gestionado estratégicamente para optimizar el uso de los recursos disponibles.

### 7.2.5. Cálculo de energía total

Para calcular la energía total se tiene en cuenta la generación del sistema mixto, menos la demanda energética del complejo. Esto sería:

Comparación de Energía Generada vs. Demanda Energética.

-Energía generada total (Rueda hidráulica + Paneles solares): 21,96 kWh/día

-Energía consumida: 11,06 kWh/día

$$\begin{aligned} \text{Energía sobrante} &= 21,96 \text{ kWh/día} - 11,06 \text{ kWh/día} \\ &= \mathbf{10,9 \text{ kWh/día}} \end{aligned}$$

Esto significa que el sistema genera más energía de la que se consume, lo que hará que las baterías se carguen más rápido y pueda quedarse con un respaldo de energía en días nublados o con baja generación hidráulica.

### 7.2.6. Cálculo de la capacidad de almacenamiento del banco de baterías

Para dimensionar el banco de baterías, se debe tomar en cuenta la siguiente fórmula básica de capacidad de almacenamiento:

Se conoce que la demanda energética a cubrir es de 11,06 kWh diarios, por lo que se calcula la energía total que aportan los dos sistemas en el sitio, que es de 21,96 kWh/día. Se ha establecido como objetivo una autonomía mínima de 3 días. Esta estimación se fundamenta en dos factores clave: por un lado, las crecidas anuales del arroyo —que ocurren entre una y dos veces por año— suelen dejar fuera de servicio la rueda hidráulica durante aproximadamente 48 horas; por otro lado, pueden presentarse períodos de entre 2 y 5 días consecutivos de nubosidad, lo que reduce significativamente la generación fotovoltaica. En estos escenarios, tanto la radiación solar como el caudal del río resultan insuficientes para garantizar la producción energética, por lo que se requiere

un banco de baterías dimensionado para cubrir la demanda sin aporte renovable durante ese período crítico.

$$\begin{aligned} \text{Energía útil requerida: } & 11,06 \text{ kWh/día} \times 3 \text{ días} \\ & = \mathbf{33,18 \text{ kWh (util)}} \end{aligned}$$

Se considera la profundidad de descarga (DoD) del banco de baterías, el cual está compuesto por baterías de plomo-ácido inundadas. En este caso, se establece una DoD del 50% con el objetivo de prolongar su vida útil, la cual se estima en aproximadamente 1000 a 1200 ciclos de carga y descarga.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad nominal: } & 33,18 \text{ kWh} \div 0,5 \\ & = \mathbf{66,36 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Este valor es lo que se necesita para abastecer al complejo de forma autónoma, sin fuentes externas de energía, solo utilizando la energía almacenada.

Este sistema consta de 16 baterías de 200Ah y 6V. Están conectadas en serie para obtener 24V y a su vez en paralelo para sumar los amperajes dando como resultado 800Ah.

Por lo tanto, tenemos:

$$6V \times 4 = \mathbf{24V}$$

El banco de baterías opera con **24V**. Si el banco se compone por 4 baterías de 6V y tenemos 4 filas conectadas en paralelo obtenemos:

$$4 \text{ filas} \times 200 \text{ Ah} = \mathbf{800 \text{ Ah}}$$

La energía almacenada en el banco es:

$$\begin{aligned} \text{Energía} &= \text{Voltaje} \times \text{Capacidad} \\ \text{Energía almacenada} &= 24V \times 800 \text{ Ah} = 19200 \text{ Wh} = \mathbf{19,2 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

La energía total del banco de baterías es de 19,2 kWh. Considerando una profundidad de descarga máxima (DOD) del 50%, la energía disponible se reduce a 9,6 kWh. Sin embargo, también debe contemplarse la eficiencia de carga y descarga del sistema de almacenamiento, que para baterías de plomo-ácido es aproximadamente del 80%. De esta manera, la energía útil final que puede aprovechar el sistema resulta:

$$\text{Energía útil disponible} = 19,2 \text{ kWh} \times 0,5 \times 0,8 = \mathbf{7,68 \text{ kWh}}$$

Comparar con la demanda energética. La demanda energética diaria del complejo es de 11,06 kWh. Para abastecerlo durante 3 días, la demanda total sería de 33,18 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Energía total} &= \text{Energía útil} - \text{Energía requerida para 3 días} \\ \text{Energía total} &= 7,68 \text{ kWh} - 33,18 \text{ kWh} = \mathbf{-25,5 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

Esto quiere decir que no es suficiente el banco de baterías para cubrir 3 días de autonomía.

El banco de baterías de energía útil tiene: 7,68 kWh

El consumo diario del complejo es de: 11,06 kWh/día

Con esa energía útil la autonomía del complejo es:

$$\frac{7,68 \text{ kWh}}{11,06 \text{ kWh/día}} = 0,69 \text{ días}$$

$$0,69 \text{ días} \times \frac{24 \text{ hs}}{\text{día}} = \mathbf{16,66 \text{ horas}}$$

La energía almacenada solo cubriría **16,66 horas** sin suministro del sistema renovable.

Cuando se presentan situaciones en las que se necesita más energía, el establecimiento recurre al grupo electrógeno durante algunas horas para recargar completamente las baterías.

Lo ideal es que el banco de baterías pueda asegurar una autonomía mínima de **3 días**, considerando que puede haber varios días consecutivos sin buena radiación solar o crecidas del río que inhabiliten la rueda hidráulica durante al menos 48 horas.

### **7.3. COMPARACIÓN DE LAS FUENTES EN CUANTO A SU VIABILIDAD ECONÓMICA Y ENERGÉTICA.**

Las siguientes tablas muestran el análisis energético en cuanto a factores técnicos de las diferentes fuentes (Tablas 9) y el factor económico de las mismas (Tabla 10).

La **tabla 9** permite comparar las principales características técnicas de ambos sistemas, se centra en una evaluación técnico–energética. Sin embargo, dichos análisis exceden el alcance de este trabajo, cuyo objetivo es evaluar la factibilidad técnica y energética del sistema híbrido instalado en el complejo El Talita.

**Tabla 9:** Comparación técnica de las fuentes de energía renovable y no renovable.

| Comparacion tecnica de ambos sistemas |   |   |  |
|---------------------------------------|---|---|--|
| Sistema No Renovable                  |   | Sistema Renovable                             |  |
| Descripción                           | Valor   | Descripción                                   | Valor  |
| Banco de 16 baterías de 6V*200A       | Puede trabajar directo pero lo ideal es con banco de baterías | Banco de 16 baterías de 6V*200A               | Si   |
| Potencia max grupo electrógeno        | 5,2 kW  | Potencia total Sistema FV + Hidráulico        | 2,7 kW + 0,6 kW = 3,3 kW                             |
| Vida útil                             | 3-4 años de uso diario  | Vida util                                     | Entre 15 a 20 años                                   |
| Mantenimiento                         | Cargar combustible  | Mantenimiento                                 | Casi nulo  |
| Service                               | Cada 40 días cambio de filtro y aceite                        | Service                                       | C/ 6 meses limpiar paneles y chequear nuevas sombras |
| Ruido                                 | Si  | Ruido   | No   |
| Dependencia del combus.               | Si  | Dependencia del combus.                       | No   |
| Cargador de 24V-100A                  | 3-4hs (sin consumo en simultaneo)                             | MPPT entregando 24v-60A el banco se carga en: | 5-6hs (sin consumo en simultaneo)                    |
| Horario para cargar baterías          | 24hs  | Horario para cargar baterías                  | Entre 10AM-17PM                                      |

La **Tabla 10** presenta la comparación económica entre el sistema no renovable (grupo electrógeno) y el sistema renovable propuesto, conformado por generación fotovoltaica y rueda hidráulica. La disposición de los costos se realizó considerando un período de análisis de tres años, ya que se estima que en ese lapso la inversión en el sistema renovable se amortiza completamente a partir del ahorro en combustible y mantenimiento.

Por este motivo, en el caso del sistema no renovable se incluyó el consumo de combustible correspondiente a tres años de operación, además de los servicios de mantenimiento programados cada 200 horas de uso, que representan un gasto adicional significativo. En contraste, el sistema renovable, si bien requiere una inversión inicial más alta, presenta costos operativos prácticamente nulos durante ese período, lo que permite recuperar la inversión en aproximadamente 2,5 a 3 años. A partir de entonces, el sistema renovable continúa generando energía a bajo costo, resultando más económico, eficiente y sostenible a mediano y largo plazo.

**Tabla 10:** Comparación económica de los sistemas energéticos.

| Comparacion economica de ambos sistemas |                      |                        |                      |
|---|----------------------|------------------------|----------------------|
| Sistema No Renovable                    |                      | Sistema Renovable      |                      |
| Descripción                             | Costo                | Descripción            | Costo                |
| Banco de baterías                       | \$ 7.200.000         | Banco de baterías      | \$ 7.200.000         |
| 16 baterías trojan Tde 200A             |                      | 16 baterías de 200A    |                      |
| Grupo electrógeno                       | \$ 3.200.000         | 8 Paneles              | \$ 3.544.000         |
| Autonomía de 10 hs                      | \$ 22.400            | Inversor 5 kW mppt     | \$ 2.815.600         |
| 16 litros el tanque                     |                      | Regulador rueda hidra. | \$ 380.000           |
| Cantidad de tanques                     | 438                  | Accesorios sist FV     | \$ 2.300.000         |
| Gasto en combus (3 años)*               | \$ 9.811.200         | Rueda hidráulica       | \$ 1.800.000         |
| Combustible hasta el pueblo             | \$ 130.000           | Cañería                | \$ 2.200.000         |
| Services c/ 200 hs                      | \$ 350.000           | Pileta de contención   | \$ 4.800.000         |
| Cableado hasta el banco                 | \$ 170.000           | Generador rueda        | \$ 300.000           |
| inversor                                | \$ 1.600.000         | Mano de obra           | \$ 4.700.000         |
| Mano de obra                            | \$ 500.000           | Cableado               | \$ 2.650.000         |
| Cargador de Bat 24V enertik             | \$ 1.110.000         |                        |                      |
| <b>Total</b>                            | <b>\$ 24.071.638</b> | <b>Total</b>           | <b>\$ 32.689.600</b> |

\*Teniendo en cuenta que funciona entre 3/4 horas diarias.

## 8. CONCLUSIONES

Este análisis no solo ha permitido evaluar la viabilidad de estas tecnologías en términos de eficiencia y sostenibilidad, sino que también ha resaltado sus ventajas y desventajas.

- El complejo El Talita cuenta con una demanda energética de 11,06 kWh/día. Para abastecerlo, se emplean dos fuentes de energía: un sistema renovable y un sistema convencional.
- Dentro del sistema renovable, la rueda hidráulica presenta pérdidas significativas, lo que afecta su rendimiento. Además, su conversión a energía eléctrica es deficiente, ya que no logra mantener una tensión nominal constante durante períodos prolongados.
- A pesar de sus limitaciones, la rueda hidráulica opera las 24 horas del día, lo que la convierte en la fuente de energía base del complejo. Sin embargo, enfrenta dos crecidas anuales en promedio, las cuales pueden interrumpir su funcionamiento por al menos 48 horas cada evento.
- El sistema fotovoltaico está compuesto por 8 paneles conectados en paralelo, lo que permite incrementar la intensidad de corriente antes de pasar por el regulador y cargar las baterías. Su potencia total es de 2,7 kW.

- El grupo electrógeno suple la energía faltante cuando las fuentes renovables no alcanzan a cubrir la demanda. Cuanto menos se lo utilice, mejor dimensionado y optimizado estará el sistema renovable.
- Los sistemas renovables instalados (rueda hidráulica y sistema fotovoltaico) generan 21,96 kWh diarios, superando la demanda del complejo, que es de 11,06 kWh/día. La estimación solar se basó en 3,5 HED en julio, el mes con menor radiación. Por lo tanto, en meses más favorables, habrá un importante excedente de energía. Sin embargo, el objetivo principal no es solo cubrir el consumo diario, sino garantizar autonomía durante 3 días sin generación. Para eso, es fundamental contar con un banco de baterías correctamente dimensionado.
- Con la capacidad actual del banco de baterías, la autonomía del sistema es de 0,69 días (16,66 horas), lo que no es suficiente para cubrir los 3 días de respaldo previstos ante condiciones climáticas adversas.
- Actualmente, el grupo electrógeno se utiliza ocasionalmente, principalmente cuando la generación de energía renovable es insuficiente en determinados períodos del año y/o cuando la rueda hidráulica se encuentra inhabilitada por alguna crecida. Para reducir su uso y alcanzar los tres días de autonomía energética deseados, sería necesario triplicar la cantidad de baterías del banco actual. Otra opción es reemplazar las baterías actuales por otras de mayor capacidad de almacenamiento. De esta forma, se evitaría tener que instalar un banco con más de 60 baterías solo para cubrir tres días de autonomía, lo cual sería poco eficiente tanto en espacio como en costos.
- En términos de inversión, los sistemas de energías renovables requieren un mayor desembolso inicial. Sin embargo, a largo plazo resultan más económicos, ya que tienen bajos costos de operación y mantenimiento, y permiten amortizar la inversión con el tiempo, generando incluso ahorros considerables.
- Los sistemas basados en energía no renovable implican costos constantes y elevados, especialmente en combustible y mantenimiento. En aproximadamente dos años, el gasto acumulado podría igualar o superar lo que se invertiría en un sistema conectado a la red (como EPEC), sin contar los aumentos futuros de tarifas.
- Desde un punto de vista técnico, el grupo electrógeno brinda seguridad energética inmediata siempre que haya combustible disponible, sin depender de factores externos. Por otro lado, las energías renovables están sujetas a condiciones climáticas, como días nublados o crecidas del río que puedan afectar el rendimiento del sistema.

## **9. CONSIDERACIONES FINALES**

Con este trabajo de investigación, se ha contribuido al entendimiento de la importancia y utilidad de las energías renovables en zonas aisladas, donde no es posible acceder a la red eléctrica convencional. Fuentes como la energía solar e hidráulica representan opciones viables y eficientes

para abastecer estos lugares, siempre que se aprovechen adecuadamente los recursos naturales disponibles.

- En cuanto al sistema fotovoltaico, su funcionamiento es correcto, aunque sería recomendable mejorar la inclinación de los paneles solares (ver foto 7,8 y 9 Anexo) para optimizar la captación de energía y aumentar su rendimiento. Actualmente los paneles se encuentran a 40/45° de inclinación con orientación N. Además, se sugiere utilizar un único regulador para la carga de las baterías.
- Para mejorar la autonomía y estabilidad del sistema, se recomienda:
  - Agregar tres paneles solares adicionales de (330-400 Wp), teniendo en cuenta que también habría que colocar un regulador e inversor dimensionado para la potencia extra. Esto permitirá aumentar la generación diaria, reducir la dependencia del grupo electrógeno en días con baja radiación o caudal y cargar de manera más rápida el banco de baterías. El sobrante de energía sería para utilizarla en otra cosa como cargar un tanque con agua, por ejemplo.
  - Ampliar el banco de baterías a 86,4 kWh totales (34,56 kWh útiles), lo que implica incorporar aproximadamente 56 baterías más iguales a las actuales, para alcanzar los 3 días de autonomía deseados.
  - Optimizar la eficiencia de la rueda hidráulica.
- Se recomienda ordenar y acondicionar la sala donde se encuentran los inversores, reguladores y baterías, asegurando una instalación más organizada y eficiente.
- Es necesario mejorar la eficiencia y el rendimiento de la rueda hidráulica, tanto en la generación de energía mecánica en el río como en su conversión a energía eléctrica.
- El banco de baterías debe ampliarse, pero la realidad que esto tiene un costo económico elevado, considerando que serán pocas las ocasiones críticas donde se necesita tanta autonomía. Lo más probable es terminar acudiendo al grupo electrógeno, garantizando el suministro eléctrico en caso de que no sea posible la producción de energía renovable.
- El sistema de abastecimiento energético del complejo El Talita, basado en energía fotovoltaica e hidráulica, responde adecuadamente a la demanda actual y garantiza el suministro en condiciones normales. No obstante, en situaciones prolongadas de baja radiación o caudal, la autonomía del sistema resulta limitada, requiriendo apoyo del grupo electrógeno diésel. En general, el esquema actual es eficiente y funcional, aunque presenta márgenes de mejora orientados a incrementar su autonomía, optimizar la generación renovable y ordenar la instalación eléctrica, con el fin de lograr un sistema más estable, eficiente y sostenible a futuro

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Internacional de Energía. 2020. Energy policy review of Argentina. (Stagnitta, R. G.).
- Asociación Empresarial Eólica (AEE), 2012. Impactos ambientales de la producción de electricidad (elaborado por APPA e IDAE).
- Benito, M. E., 2024. Funcionamiento hidrológico y dinámica morfosedimentaria del río Alpa Corral-Seco como base para la mitigación de riesgos naturales y la explotación sustentables de áridos, cuenca río Cuarto, Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.
- Blarasin M., 2003. Geohidrología Ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de RíoCuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Inédita.
- Bludszuweit, H., y Navarro, M. (2008). Energía hidroeléctrica. Introducción. ISBN 978-84-92521-20-3, págs. 13-28.
- Cabello, G., 2014. Análisis de la matriz energética argentina: y cómo llegar a una matriz energética sustentable. Tesis de maestría, Universidad de San Andrés. Escuela de Administración y Negocios. Repositorio Digital San Andrés. <http://hdl.handle.net/10908/2684>
- Capitanelli R. G. 1979. Clima. En: Geografía física de la Provincia de Córdoba. Ed. BOLDT 45-138.
- Cattaneo, C., & Gavalda, M. (2010). El camino de la autonomía energética: La experiencia práctica del CSO Kan Pasqual. En \*2nd Conference on Economic Degrowth\* (26–29 March 2010). Barcelona: ICTA (pp. 3-10).
- Cerdá, E., André, F. J., & de Castro, L. M. 2012. Las energías renovables en el ámbito internacional. Cuadernos Económicos De ICE, 1(83). <https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6031>.
- Dasso, C. M., Piovano, E. L., Pasquini, A. I., Córdoba, F. E., Lecomte, K. L., Guerra, L., y Campodónico, V. A., 2014. Recursos hídricos superficiales. En Relatorio del XIX Cong. Geológico Argentino. (Vol. 2, pp. 12091231).
- EPSA. (2016). Central hidroeléctrica Quebrada de Ullum. Energía Provincial Sociedad del Estado <https://www.epsesanjuan.com.ar/index.php/web/proyecto/central-hidroelectrica-a-pie-de-presa-quebrada-de-ullum/12>
- Esparza López, J. M. 2018. Energía solar fotovoltaica: Fundamentos, tecnologías y aplicaciones (2.ª ed.). Alfaomega.
- Espejo Marín, Cayetano, García Marín, Ramón, & Aparicio Guerrero, Ana Eulalia. (2017). El resurgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual. Revista de geografía Norte Grande, (67), 115-143.
- European Environment Agency. (2019). Air pollutant emission inventory guidebook 2019. Publications Office of the European Union. Luxembourg.
- Forero Reyes, A. (2015). Problemática en torno al uso de fuentes de energía convencionales en la ciudad de Bogotá: Alternativas y desafíos. (Tesis de maestría). Instituto de Altos Estudios para el Desarrollo (IAED). Academia diplomática de San Carlos. Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia. 121 pág.
- Fu, Q., Álvarez-Otero, S., Sial, M. S., Comite, U., Zheng, P., Samad, S., & Oláh, J. (2021). Impact of renewable energy on economic growth and CO2 emissions—evidence from BRICS countries. Processes, 9(8), 1281.
- Fu, Y., Liu, X., & Yuan, Z. (2015). Life-cycle assessment of multi-crystalline photovoltaic (PV) systems in China. *Journal of Cleaner Production*, 86, 180–190.
- García-Astillero, A. (2018). Qué son impactos ambiental negativos y positivos.
- Gorgas J., Tassile J., Jarsún B., Zamora E., Bosnero E., Lovera E., Ravelo A., Carnero M., Bustos, V., Pappalardo J., Petropulo G., Rossetti E. y M. Ledesma, 2003. Los recursos naturales de la Provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente INTA Manfredi.

- Guastay Cajo, W. E. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *Energy efficiency 2020*. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 50001:2018 - Energy management systems*.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- Maingi, J. K., & Marsh, S. E. (2002). Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya. *Journal of Arid Environments*, 50(1), 53-79.
- Merino, L. (2012). Las energías renovables. *Energías renovables*, 1(1), 20.
- Ortega-Arriaga, P., Babacan, O., Nelson, J., & Gambhir, A. (2021). Grid versus off-grid electricity access options: A review on the economic and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110887.
- Osorio, J. F. S. (2008). *Energía hidroeléctrica*. Universidad de Zaragoza.
- Poff, N. L., & Zimmerman, J. K. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater biology*, 55(1), 194-205.
- Poveda, M. (2007). *Eficiencia energética: recurso no aprovechado*. OLADE. Quito.
- Quaranta, E., & Müller, G. (2017). Hydropower: From conventional to innovative technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109257.
- Rodríguez Padilla, V. (2018). *Seguridad energética: análisis y evaluación del caso de México*.
- Rueda, M. (2023, 30 de enero). ¿Cuánto combustible consume un grupo electrógeno? SUTEVA.
- Santamarta, J. (2004). Las energías renovables son el futuro. *World Watch*, 22.
- Sevilleja Aceituno, D., 2011. *Eficiencia energética en el sector industrial*. Proyecto de Fin de Carrera Universidad Carlos III de Madrid, Leganés. 93 pág.
- Soria, E., Mosquera, P., & Ruesga, L. M. (2008). *Energía hidráulica*.
- Sovacool, B. K., & Brown, M. A. (2010). Competing dimensions of energy security: an international perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 77-108.
- Stagnitta, R. G. (2020). *Metodología complementaria a los balances energéticos para el abordaje de políticas de eficiencia energética en usos finales [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Rosario]*. Repositorio Institucional UNR.
- J. Steller. (2022). Hydropower and its development. *Acta Energetica*, (03), 7–31.
- Jordan, D. C., & Kurtz, S. R. (2013). Photovoltaic degradation rates — An analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12–29. <https://doi.org/10.1002/pip.1182>
- United Nations. (2018). *The sustainable development goals report 2018*. Naciones Unidas.
- WHO. (2016). *Air quality and health*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/air-quality-and-health>
- Wolfson, R. (2011). *Energy, environment, and climate*. WW Norton & Company.
- Zachariou, A., & Symeou, L. (2009). La comunidad local como medio para promover la educación para el desarrollo sostenible. *Educación ambiental aplicada y comunicación*, 7(4), 129–143.



## 11. ANEXOS



Ilustración 1: Dique de contención.

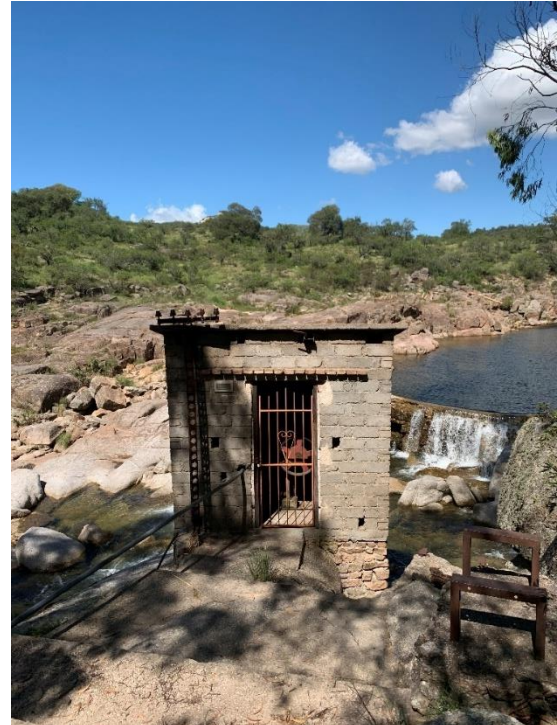


Ilustración 2: Casilla de generación de energía de la rueda hidráulica.



Ilustración 3: Rueda hidráulica



Ilustración 4. Rueda vista de perfil



Ilustración 5 Tanque de almacenamiento de agua antiguo.



Ilustración 6. Vado aguas abajo.



Ilustraciones 7, 8 y 9 Paneles fotovoltaicos con su respectiva inclinación y orientados hacia el N.

