

Ivan Pozo Fernández

Proyecto de análisis de la viabilidad técnica para la adaptación de la generación de E. eléctrica mediante E. renovables a la demanda de E. eléctrica del Sistema Eléctrico Español

**Trabajo Final de Máster
dirigido por el Dr. Rodríguez Carabias, Joaquín Andrés**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2023

Índice

1	Memoria.....	1
1.1	Objetivo.....	1
1.2	Alcance.....	1
1.3	Antecedentes.....	2
1.4	Normas y referencias.....	2
1.4.1	Disposiciones legales y normas.....	2
1.4.2	Programas de cálculo.....	2
1.4.3	Plan de gestión de calidad aplicada.....	2
1.4.4	Bibliografía.....	2
1.4.5	Webgrafía.....	3
1.5	Definiciones y abreviaturas.....	4
1.5.1	Definiciones.....	4
1.5.2	Abreviaturas.....	5
1.6	Requisitos de diseño.....	6
1.7	Análisis de soluciones.....	6
1.7.1	Energías disponibles.....	6
1.7.1.1	Energía hidroeléctrica.....	7
1.7.1.2	Energía solar fotovoltaica.....	7
1.7.1.3	Energía solar térmica.....	8
1.7.1.4	Energía eólica.....	9
1.7.1.5	Energía de biomasa.....	9
1.7.1.6	Energía geotérmica.....	9
1.7.1.7	Energía nuclear.....	10
1.7.1.8	Energía fósil.....	11
1.7.1.8.1	Energía del petróleo.....	11
1.7.1.8.2	Energía de gas natural.....	11
1.7.1.8.3	Energía de carbón.....	11
1.7.1.9	Energía de cogeneración.....	12
1.7.1.10	Conclusiones energías disponibles.....	12
1.7.2	Almacenar de energía intermitente.....	14
1.7.2.1	Centrales hidráulicas de almacenamiento.....	15
1.7.2.1.1	Centrales de bombeo puro.....	17
1.7.2.1.2	Centrales de bombeo mixto.....	18
1.7.2.2	Baterías de iones de litio.....	19
1.7.2.3	Hidrógeno verde.....	20
1.7.2.4	Almacenamiento en sales centrales termoeléctricas.....	20

1.7.2.5	Resultados almacenar de energía intermitente	21
1.8	Adaptación de la generación a la demanda.....	22
1.8.1	Necesidad de adaptar la generación a la demanda.....	22
1.8.2	Adaptación de la generación de E. eléctrica a la demanda de dicha energía	24
1.8.3	Desarrollo sistema de adaptación de la generación a la demanda...	25
1.8.4	Parámetros fundamentales del sistema de adaptación de la generación a la demanda	25
1.8.4.1	Almacenamiento estacional y ciclo diario	25
1.8.4.2	Aporte de energía gestionable	26
1.8.4.3	Energía renovable no aprovechada	26
1.8.5	Criterios para el desarrollo del sistema de almacenamiento.....	26
1.8.6	Determinación de los parámetros fundamentales del sistema de adaptación de generación de E. eléctrica, a la demanda	27
1.9	Resultados finales	27
1.9.1	Determinación parámetros fundamentales opción A.....	27
1.9.1.1	Determinación opción A	29
1.9.1.2	Calculo E. eléctrico necesario.....	30
1.9.1.3	Perfil de la demanda eléctrica	30
1.9.1.4	Determinación parámetros fundamentales opción A.....	30
1.9.1.4.1	Determinación de la capacidad del SACD optima	30
1.9.1.4.2	Determinación de la potencia optima de las centrales de B. puro	31
1.9.1.4.3	Determinación de la relación potencia optima entre las plantas EOL y SFV	31
1.9.1.4.4	Balances horarios del día 7 de mayo de 2018.....	32
1.9.1.4.5	E. Eléctrica almacenada en el SACD.....	34
1.9.1.4.6	Demanda de E. Eléctrica y aporte con las distintas fuentes....	34
1.9.2	Determinación parámetros fundamentales opción A.1	36
1.9.2.1	Introducción opción A.1	36
1.9.2.2	Determinación parámetros fundamentales	36
1.9.2.2.1	Determinación de la relación potencia optima entre las plantas EOL y SFV	36
1.9.2.2.2	E. Eléctrica almacenada en el SACD.....	37
1.9.2.2.3	Demanda de E. Eléctrica y aporte con las distintas fuentes....	38
1.9.2.3	Comparación entre opción A y A.1	39
1.9.3	Determinación parámetros fundamentales opción B	40
1.9.3.1	Introducción opción B	40
1.9.3.2	Calculo E. eléctrico necesario.....	41

1.9.3.3	Perfil horario de la demanda de calefacción y ACS.....	41
1.9.3.4	Determinación parámetros fundamentales.....	42
1.9.4	Determinación parámetros fundamentales opción B.1	42
1.9.4.1	Introducción opción B.1	42
1.9.4.2	Determinación parámetros fundamentales.....	42
1.9.4.2.1	Comparación entre opción B y B.1.....	43
1.9.5	Determinación parámetros fundamentales opción C.....	43
1.9.5.1	Introducción opción C.....	43
1.9.5.2	Comparación del rendimiento energético de los coches eléctricos con baterías y los coches / camiones con pila de H ₂	46
1.9.5.3	Cálculo E. eléctrico necesario para cargar las baterías.....	46
1.9.5.4	Perfil horario de carga de las baterías.....	47
1.9.5.5	Determinación parámetros fundamentales.....	47
1.9.6	Determinación parámetros fundamentales opción C.1	48
1.9.6.1	Introducción opción C.1	48
1.9.6.2	Determinación parámetros fundamentales.....	48
1.9.6.3	Comparación entre opción C y C.1	48
1.9.7	Determinación parámetros fundamentales opción D.....	49
1.9.7.1	Introducción opción D.....	49
1.9.7.2	Cálculo de la E. eléctrica para generar y comprimir el H ₂	50
1.9.7.3	Perfil horario de la E. eléctrica para generar H ₂	51
1.9.7.4	Determinación parámetros fundamentales.....	51
1.9.8	Determinación parámetros fundamentales opción D.1	51
1.9.8.1	Introducción opción D.1	51
1.9.8.2	Determinación parámetros fundamentales.....	51
1.9.8.3	Comparación entre opción D y D.1.....	52
1.9.8.4	Análisis aumento Almacenamiento Ciclo Diario	52
1.9.9	Conclusiones	53
1.9.10	Visión de futuro	53
1.10	Planificación	55
1.11	Orden de prioridad entre los documentos.....	55
2	Conclusiones finales	56
3	Anexos.....	57
3.1	Documentación inicial.....	57
3.1.1	Gráficos perfiles diario energía eléctrica	57
3.1.2	Valores horarios Demanda de la Red Eléctrica	67
3.1.3	Perfil horario de la demanda de calefacción y ACS	71
3.1.4	Perfil horario de carga de las baterías	73

3.1.5	Perfil horario de la E. eléctrica para generar H ₂	74
3.1.6	Mapas sensibilidad ambiental	75
3.2	Cálculos	77
3.2.1	Consumos necesarios de E. eléctrica para sustituir las E. fósiles.....	77
3.2.1.1	Tablas de cálculos	77
3.2.1.2	Consumos necesarios de E. eléctrica para sustituir la E. fósil	80

1 Memoria

1.1 Objetivo

El objetivo de este proyecto busca analizar la viabilidad técnica de adaptar la generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables a la demanda del Sistema Eléctrico Español. A pesar de la importancia de este objetivo para lograr una transición hacia una economía baja en carbono, la adaptación de la generación de energía eléctrica con E. renovable a la demanda en España enfrenta desafíos clave en España, como la intermitencia de estas fuentes y la capacidad limitada de almacenamiento de energía.

Para solucionar este problema, se ha propuesto la implementación de tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica que permitan acumular la energía renovable cuando está disponible en exceso y liberarla cuando se necesita. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías presenta desafíos importantes como el alto coste, así como la pérdida de eficiencia durante el proceso de almacenamiento y liberación.

Para asegurar un funcionamiento estable del sistema eléctrico en todo momento, es necesario que la energía eléctrica que se aporta a la Red Eléctrica de Distribución (RED) sea igual a la Demanda de Energía Eléctrica (DEE) que se consume. Este equilibrio es fácil de lograr cuando la generación de energía eléctrica se realiza a través de fuentes hidráulicas o fósiles, pero se vuelve más complicado cuando se utiliza energía eólica (EOL) y solar fotovoltaica (SFV), ya que estas son energías no gestionables debido a que no podemos controlar la radiación solar ni la intensidad del viento.

Para enfrentar estos desafíos, el gobierno español ha implementado políticas y programas que buscan mejorar la adaptabilidad de la generación de energía renovable a la demanda. Estas medidas incluyen incentivos para el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía y un marco normativo para su integración en la red eléctrica.

Adaptar la generación a la demanda es crucial para lograr una transición hacia una economía baja en carbono en España. Sin embargo, la adaptación de la generación de energía renovable a la demanda requiere abordar importantes desafíos, como el costo y la capacidad limitada de las tecnologías de almacenamiento de energía y la pérdida de eficiencia durante el proceso de almacenamiento y liberación. Se requieren políticas y programas efectivos para adaptar la generación de energía renovable a la demanda y lograr un sistema energético más sostenible.

1.2 Alcance

El alcance del proyecto es analizar la viabilidad técnica de la adaptación de la generación de energía eléctrica mediante energías renovables a la demanda de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Español, a través del análisis de datos de generación y demanda eléctrica de los años 2018 y 2022.

Para determinar dicho alcance asumimos que todas las calderas de GN y gasóleo utilizadas para calefacción y ACS, son sustituidas por equipos de Aerotermia. Todos los coches con MCI son sustituidos por BEV. Todos los camiones y autobuses con MCI son sustituidos por otros impulsados por pilas de H₂.

Se propone sustituir el consumo de energía fósil actual en la generación de energía eléctrica (246000 GWh/año) por energía renovable. El consumo de energía fósil en calefacción y ACS (28500 GWh/año) por energía térmica generada con equipos de Aerotermia alimentados con energía eléctrica renovable. El consumo de energía fósil en el transporte por carretera de coches con motores de combustión interna (48500

GWh/año) por energía eléctrica generada con energía renovable para cargar las baterías de vehículos eléctricos. En el caso del transporte por carretera de camiones y autobuses con motores de combustión interna (97500 GWh/año), se propone la sustitución por hidrógeno generado con energía eléctrica renovable. Estas medidas reducirían el consumo de energía fósil actual aproximadamente en un 78%.

1.3 Antecedentes

En los últimos años, el sector de las energías renovables en España ha experimentado un rápido crecimiento gracias a la implementación de políticas y programas destinados a mejorar la adaptabilidad de la generación de energía renovable a la demanda. Sin embargo, la generación intermitente de energía renovable presenta una serie de desafíos que aún deben superarse.

Para abordar esta problemática, el gobierno español ha implementado una serie de políticas y programas destinados a mejorar la adaptabilidad de la generación de energía renovable a la demanda. En 2013, se aprobó una nueva normativa que estableció un marco para la integración de energías renovables y el almacenamiento de energía en la red eléctrica. Esta normativa es el Real Decreto-ley 9/2013, aprobado el 13 de julio de 2013, que estableció medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico en España.

Además, en los últimos años, se han llevado a cabo varios proyectos de investigación y desarrollo en España para mejorar las tecnologías de almacenamiento de energía y su capacidad de adaptación a la demanda. Estos proyectos incluyen el desarrollo de baterías de flujo, sistemas de almacenamiento térmico y sistemas de almacenamiento de hidrógeno.

A pesar de estos avances, todavía hay desafíos importantes que enfrenta España en su camino hacia la adaptabilidad de la generación de energía renovable a la demanda. La Ley de Transición Energética y Cambio Climático y la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo han marcado un nuevo camino para la generación de energía eléctrica en España, impulsando la transición hacia un sistema energético más sostenible y eficiente en el uso de los recursos.

1.4 Normas y referencias

1.4.1 Disposiciones legales y normas

Normas:

- UNE 157001 Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

1.4.2 Programas de cálculo

En este proyecto se ha utilizado los siguientes softwares de cálculo y diseño, ejecutados en Microsoft Windows:

- Microsoft Excel

1.4.3 Plan de gestión de calidad aplicada

No se aplica en este trabajo.

1.4.4 Bibliografía

[1] Joaquín Andrés Rodríguez Carabias. Energías renovables Vs. Energías fósiles.

[2] GUIA IDAE 019: PTT: Planes de transporte al trabajo. Muévete con un plan Madrid, abril de 2019.

[3] Tank to Wheel efficiency. Devin Serpa - AfterOil EV.

[4] Estrategia a largo plazo para una economía española, moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050. Marco estratégico de energía y clima. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

[5] Estrategia de almacenamiento energético. Marco estratégico de energía y clima. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid, febrero de 2021.

1.4.5 Webgrafía

[6] Fuentes de energía renovable:

<<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/fuentes-de-energia/>> [Consulta: 7 de mayo de 2023].

[7] Fuente de energía intermitente: definición, tipos y ejemplos:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_energ%C3%ADa_intermitente> [Consulta: 7 de mayo de 2023].

[8] Potencia instalada en energías renovables en España:

<<https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>> [Consulta: 29 de abril de 2023].

[9] Cómo funciona una central hidroeléctrica:

<<https://ingeoexpert.com/2018/03/22/como-funciona-una-central-hidroelectrica/>> [Consulta: 20 de abril de 2023].

[10] Energías renovables: <<https://www.slideserve.com/elon/energ-as-renovables>> [Consulta: 20 de abril de 2023].

[11] Central hidroeléctrica de Villarino: explorando su interior y su impacto en la provincia de Salamanca: <<https://www.lagacetadesalamanca.es/provincia/viaje-a-las-entranas-de-la-central-de-villarino>

CH900206?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F> [Consulta: 10 de mayo de 2023].

[12] Principales conclusiones a medida que las grandes baterías en Australia alcanzan 1 GW: <<https://www.pv-magazine-australia.com/2023/05/09/key-takeaways-as-big-batteries-in-australia-hit-1-gw/>> [Consulta: 25 de mayo de 2023].

[13] Central hidroeléctrica Cortes-La Muela de Iberdrola:

<<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-hidroelectrica/central-hidroelectrica-cortes-la-muela>> [Consulta: 7 de abril de 2023].

[14] Electrólisis de agua sostenible para producir hidrógeno verde:

<<https://cicenergigune.com/es/blog/electrolisis-agua-sostenible-producir-hidrogeno-verde>> [Consulta: 13 de abril de 2023].

[15] Cómo funciona una central solar térmica con almacenamiento por sales fundidas: <<https://maikelnai.naukas.com/2009/03/25/como-funciona-una-solar-termica-con-almacenamiento-por-sales-fundidas/>> [Consulta: 26 de abril de 2023].

[16] Cadena de la energía eléctrica: <<https://www.isaintercolombia.com/cadena-de-la-energia-electrica-2/>> [Consulta: 7 de mayo de 2023].

[17] Energías renovables en España: estado actual y perspectivas: <<https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-espana/>> [Consulta: 7 de mayo de 2023].

[18] Informe estadístico del IDAE sobre energías renovables y eficiencia energética: <<https://informeestadistico.idae.es/t1.htm>> [Consulta: 10 de marzo de 2023].

[19] Curso de capacitación docente uso responsable y eficiencia energética: <<https://scripts.minem.gob.ar/octopus/archivos.php?file=7658>> [Consulta: 1 de abril de 2023].

[20] Demanda de energía eléctrica en la península ibérica: <<https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/demandaqh/total>> [Consulta: 9 de marzo de 2023].

[21] Esquema de instalación de un sistema de aerotermia: <<https://vilssa.com/esquema-de-instalacion-de-un-sistema-de-aerotermia>> [Consulta: 15 de marzo de 2023].

[22] Consumo final de energía en España: <<https://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=2019&tipbal=t>> [Consulta: 12 de marzo de 2023].

[23] Balance eléctrico en España: <<https://www.ree.es/es/datos/balance/balance-electrico>> [Consulta: 29 de abril de 2023].

[24] Zonificación ambiental de energías renovables en España: objetivos y metodología: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacionambiental/zonificacion_ambiental_energias_renovables.aspx> [Consulta: 7 de mayo de 2023].

1.5 Definiciones y abreviaturas

1.5.1 Definiciones

Almacenamiento de energía: Conjunto de métodos, sistemas y tecnologías que permiten transformar y conservar la energía para su uso posterior.

Aporte de energía gestionable: El aporte de energía gestionable se refiere a la energía que se puede producir y gestionar en función de la demanda, y que por lo tanto puede ser utilizada para equilibrar la red eléctrica y garantizar la estabilidad del sistema.

Energía eléctrica: La energía eléctrica es una forma específica de energía final que resulta de la conversión de energía primaria en electricidad mediante centrales eléctricas. La energía eléctrica es ampliamente utilizada en la vida diaria para alimentar una variedad de dispositivos y sistemas, desde electrodomésticos hasta sistemas de transporte y comunicaciones. La energía eléctrica es una forma versátil y eficiente de energía final que se puede obtener a partir de diversas fuentes de energía primaria.

Energía final: La energía final es la energía que se entrega al consumidor final después de haber sido transformada y procesada a partir de la energía primaria. La energía final puede ser utilizada directamente por los consumidores en diversas

formas, como electricidad, gas natural, gasolina, diésel, calefacción y otras aplicaciones. La energía final es el resultado de la conversión, transporte y distribución de la energía primaria.

Energía Primaria: La energía primaria es la energía contenida en los recursos naturales antes de ser transformada o convertida en otras formas de energía. Estos recursos incluyen combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), energía nuclear y fuentes de energía renovable (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa y mareomotriz). La energía primaria es la base a partir de la cual se produce la energía que utilizamos en nuestra vida diaria.

Energía renovable no aprovechada: Se refiere a la energía que se podría producir a partir de fuentes renovables, pero que no se produce por falta de capacidad de la red eléctrica o de sistemas de almacenamiento adecuados.

SCOP: Es un indicador que mide la eficiencia estacional de las bombas de calor, tomando en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del año. Es el cociente entre la energía térmica generada y la energía eléctrica consumida en un periodo anual. Cuanto mayor sea el SCOP, más eficiente será el sistema de aerotermia. Un SCOP alto indica que la bomba de calor es capaz de extraer más energía del aire exterior con menos consumo eléctrico.

Sensibilidad ambiental: Capacidad de un ecosistema, especie o elemento del medio ambiente de ser afectado por factores externos, como la actividad humana o los cambios ambientales naturales.

1.5.2 Abreviaturas

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

BEV: Vehículo Eléctrico de Batería.

C. B. Puro: Central de Bombeo Puro.

C.B. Mix: Central de Bombeo Mixto.

C.C.C: Centrales de Ciclo Combinado.

CN: Centrales Nucleares.

DEEE: Demanda de Energía Eléctrica.

DRE: Demanda de Red Eléctrica Española.

E.E.R.G: Exceso E. eléctrica Renovable Generada.

E: Energía.

EOL: Eólica.

GN: Gas Natural.

Hi: Hidráulica.

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

Ins: Instalado.

ktep: Kilo tonelada equivalente de petróleo.

MCI: Motor de combustión interna.

P.H₂: Pilas de combustible de hidrógeno.

Re. Cb: Rendimiento cargador de baterías.

Re. Elec: Rendimiento del Electrolizador.

RED: Red Eléctrica de Distribución.

SACD / A. Ci. Diario: Sistema de Almacenamiento de Ciclo Diario.

SACE: Sistema de Almacenamiento de Ciclo Estacional.

SCOP: Coeficiente de Rendimiento Estacional.

SFV: Solar fotovoltaica.

Ster: Solar termoeléctrica.

TWE: Tank to Wheel Efficiency.

EV: Vehículo Eléctrico.

1.6 Requisitos de diseño

Se requiere que el proyecto de análisis de la viabilidad técnica para la adaptación de la generación de energía eléctrica mediante energías renovables a la demanda del Sistema Eléctrico Español cumpla con una serie de requisitos de diseño. Estos requisitos son fundamentales para asegurar un diseño eficiente, adaptable, sostenible y confiable. A continuación, se detallan los principales requisitos que deben cumplirse:

- **Eficiencia energética:** El sistema de generación de energía eléctrica mediante energías renovables debe ser diseñado para maximizar la eficiencia en la producción y utilización de la energía.
- **Capacidad de adaptación:** El diseño debe permitir una adaptación flexible y ajustable de la generación de energía renovable a la demanda del Sistema Eléctrico Español, considerando tanto la variabilidad de la oferta como de la demanda.
- **Integración con la infraestructura existente:** El diseño debe tener en cuenta la integración de las fuentes de energía renovable con la infraestructura eléctrica existente.
- **Sostenibilidad ambiental:** El diseño debe priorizar el uso de tecnologías y prácticas que minimicen el impacto ambiental, promoviendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- **Seguridad y fiabilidad:** El sistema de generación de energía renovable debe ser diseñado para garantizar la seguridad y confiabilidad en la entrega de energía eléctrica, minimizando los riesgos de interrupciones o fallas en el suministro.

1.7 Análisis de soluciones

1.7.1 Energías disponibles

A continuación, se presenta una breve explicación de las diferentes fuentes de energía disponibles^{[6], [7]}:



Figura 1. Esquema diferentes tipos de energía.

1.7.1.1 Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica utiliza la fuerza del agua en movimiento para generar electricidad. En España, se emplean centrales hidroeléctricas convencionales, estaciones de bombeo puro y mixto. Las centrales convencionales aprovechan el flujo natural de ríos y embalses, mientras que las estaciones de bombeo permiten almacenar y liberar energía según las necesidades de la red eléctrica.



Figura 2. Central hidráulica.

1.7.1.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad mediante el uso de paneles solares. España tiene una gran cantidad de horas de sol al año, lo que la convierte en un lugar ideal para el desarrollo de esta tecnología. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y sostenible, pero su producción puede ser variable debido a las condiciones climáticas.



Figura 3. instalación solar fotovoltaica.

1.7.1.3 Energía solar térmica

La energía solar térmica utiliza la radiación solar para calentar un fluido, como agua o sales fundidas, que luego se emplea para generar electricidad mediante una turbina de vapor. En España, se han construido centrales termo solares con sistemas de almacenamiento térmico, lo que permite una producción de energía más estable a lo largo del día.

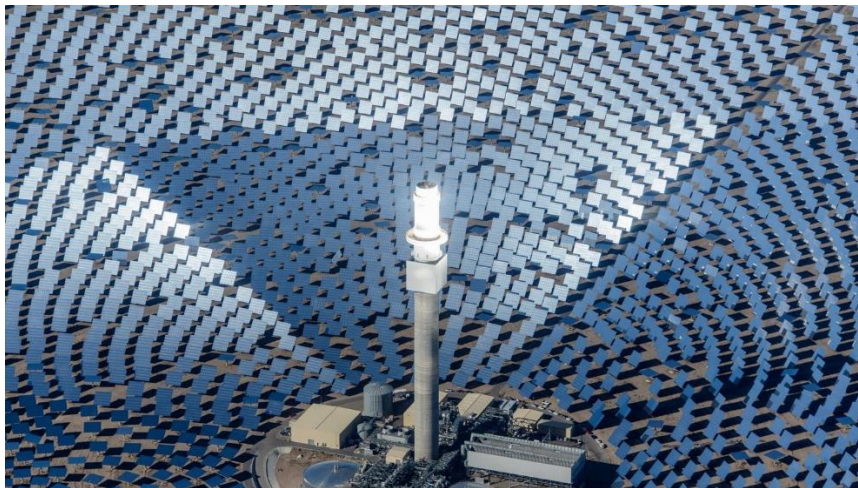


Figura 4. Central termoeléctrica.



Figura 5. Instalación solar térmica.

1.7.1.4 Energía eólica

La energía eólica se obtiene al transformar la fuerza del viento en electricidad mediante turbinas eólicas. España es uno de los principales productores de energía eólica en Europa, gracias a su ubicación geográfica y a sus condiciones meteorológicas. La energía eólica es renovable y no produce emisiones, pero su generación es intermitente debido a la variabilidad del viento.



Figura 6. Parque eólico.

1.7.1.5 Energía de biomasa

La energía de biomasa se produce al quemar materia orgánica, como residuos forestales, agrícolas o de la industria alimentaria. En España, se utilizan plantas de biomasa para generar electricidad y calor. La energía de biomasa es una opción sostenible si se gestionan adecuadamente los recursos y se minimizan las emisiones de gases de efecto invernadero.



Figura 7. Planta de biomasa.

1.7.1.6 Energía geotérmica

La energía geotérmica aprovecha el calor del subsuelo terrestre para generar electricidad. Aunque en España el potencial geotérmico es limitado, se han desarrollado proyectos de climatización y calefacción utilizando esta fuente de energía. La energía geotérmica es una opción sostenible y de baja emisión, pero su desarrollo puede ser costoso y depende de la geología local.



Figura 8. Central geotérmica de alta temperatura.



Figura 9. Esquema energía geotérmica de baja temperatura.

1.7.1.7 Energía nuclear

La energía nuclear se produce al generar calor mediante reacciones nucleares en reactores nucleares. En España, existen varias centrales nucleares en funcionamiento, que proporcionan una fuente constante de energía. Aunque la energía nuclear no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero, su gestión de residuos radiactivos y riesgos asociados son aspectos controvertidos. Es una fuente de energía estable que no depende de las condiciones meteorológicas.



Figura 10. Central Nuclear.

1.7.1.8 Energía fósil

La energía fósil proviene de la combustión de combustibles fósiles, como carbón, petróleo y gas natural. Estos combustibles se formaron hace millones de años a partir de restos de plantas y animales. En España, la generación de energía a partir de combustibles fósiles ha disminuido en los últimos años debido a la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y renovables. La energía fósil es una fuente de energía estable pero no renovable y contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica.

1.7.1.8.1 Energía del petróleo

La energía del petróleo se obtiene mediante la extracción, refinación y combustión del petróleo crudo, un combustible fósil líquido formado a partir de restos de organismos marinos y terrestres. En España, se utiliza principalmente para la generación de energía eléctrica y como combustible en vehículos. A pesar de ser una fuente de energía versátil, el petróleo es una fuente de energía no renovable y tiene un gran impacto ambiental debido a las emisiones de gases de efecto invernadero y a los riesgos asociados con los derrames de petróleo en el medio ambiente. La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles ha llevado a una disminución del uso de petróleo en España y en todo el mundo.



Figura 11. Instalación de petróleo en alta mar.

1.7.1.8.2 Energía de gas natural

La energía de gas natural se produce mediante la combustión de gas natural, un combustible fósil compuesto principalmente de metano. En España, se utilizan centrales de ciclo combinado de gas natural para generar electricidad. Estas centrales son más eficientes y emiten menos emisiones que las centrales de carbón, pero siguen siendo una fuente de energía no renovable y emisora de gases de efecto invernadero.

1.7.1.8.3 Energía de carbón

La energía de carbón se obtiene al quemar carbón, un combustible fósil sólido formado a partir de restos de plantas prehistóricas. España ha experimentado un cierre progresivo de centrales térmicas de carbón en los últimos años debido a las políticas de descarbonización y la creciente competitividad de las energías renovables. La energía de carbón es no renovable y genera una gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos.



Figura 12. Reservas de carbón en una planta.

1.7.1.9 Energía de cogeneración

La energía de cogeneración se produce mediante la generación simultánea de electricidad y calor útil a partir de un único proceso de combustión. En España, se emplea la cogeneración en industrias y plantas de generación de energía térmica que utilizan combustibles fósiles, como gas natural, o fuentes de energía renovable, como biomasa. La cogeneración es una forma eficiente de aprovechar la energía, ya que se aprovecha tanto el calor como la electricidad producidos en el proceso.



Figura 13. Planta de cogeneración.

1.7.1.10 Conclusiones energías disponibles

En España, las fuentes de energía más utilizadas han ido cambiando en los últimos años debido a la transición energética hacia fuentes más sostenibles y renovables.

En general, las energías eólica y solar fotovoltaica han experimentado un crecimiento significativo en España debido a la política de transición energética, la reducción de costos y el compromiso con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, aún se requiere la generación de energía a partir de fuentes de energía más estables, como el gas natural y la energía nuclear, para garantizar la seguridad del suministro energético y compensar la intermitencia de las fuentes renovables.

El agotamiento de las energías fósiles y su impacto en la contaminación ambiental son problemas importantes en el mundo actual. Las energías fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural, han sido durante mucho tiempo la principal fuente de energía

para la generación de electricidad y el transporte. Sin embargo, estas fuentes de energía son finitas y no renovables, lo que significa que eventualmente se agotarán. El agotamiento de las energías fósiles plantea varios problemas:

- **Escasez y dependencia:** A medida que se agotan las reservas de combustibles fósiles, su disponibilidad disminuye, lo que podría generar escasez y aumentar los precios. Esto podría llevar a una mayor dependencia de la importación de energía y a la vulnerabilidad económica y política.
- **Contaminación atmosférica:** La quema de combustibles fósiles emite gases contaminantes, como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas finas, que pueden provocar problemas de salud y deteriorar la calidad del aire.
- **Cambio climático:** La quema de combustibles fósiles también emite gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), que contribuyen al cambio climático. Este fenómeno tiene graves consecuencias para el medio ambiente y la vida en la Tierra, como el aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos y pérdida de biodiversidad.

En contraste, la energía nuclear no contribuye al efecto invernadero, ya que su proceso de generación de energía no emite gases de efecto invernadero. No obstante, la energía nuclear tiene sus propias limitaciones. Aunque las reservas actuales de uranio podrían durar aproximadamente 100 años para el consumo actual, la energía nuclear enfrenta otros desafíos, como la gestión de residuos nucleares, los riesgos de accidentes nucleares y la proliferación de armas nucleares.

Además, el aprovisionamiento de uranio, el combustible utilizado en las CN puede ser poco fiable debido a su proveniencia. La mayor parte del uranio proviene de países con inestabilidad política o con tensiones geopolíticas, lo que podría afectar el suministro y la seguridad energética.

Por lo tanto, es crucial buscar alternativas sostenibles y limpias a las energías fósiles y abordar los desafíos de la energía nuclear. Las energías renovables, como la eólica y la solar, junto con mejoras en la eficiencia energética y la innovación en tecnologías de almacenamiento de energía, pueden desempeñar un papel importante en la transición hacia un futuro energético más sostenible y seguro. A continuación, se muestra una tabla con la potencia instalada en España en la actualidad:

Tabla 1. Potencia instalada en España en 2023^[8].

Potencia instalada actualmente (GW)	Valor
Hidráulica	17,1
Turbinación bombeo	3,3
Nuclear	7,1
Carbón	3,2
Ciclo combinado	24,6
Eólica	29,5
Solar fotovoltaica	19,9
Solar térmica	2,3
Otras renovables	1,1
Cogeneración	5,6

1.7.2 Almacenar de energía intermitente

La generación de energía renovable es esencial para reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles, pero su intermitencia plantea desafíos para mantener la estabilidad del suministro eléctrico. Por lo tanto, el almacenamiento de energía es importante para equilibrar la oferta y la demanda de electricidad. A continuación, se muestran las diferentes tecnologías de almacenamiento energético existentes:



Figura 14. Clasificación de las tecnologías de almacenamiento energético^[5].

A continuación, se presentan los parámetros de funcionamiento de las tecnologías de almacenamiento energético. En la Figura 15 se muestra el rango de potencia nominal y el tiempo de operación a plena carga para cada tecnología. Además, se presenta el tiempo de respuesta característico de cada una de ellas. Por otro lado, en la Figura 16 se ofrece información sobre la capacidad energética, la eficiencia en el ciclo completo y el nivel de madurez de cada tecnología de almacenamiento de energía.

Estos datos son importantes para comprender las capacidades y limitaciones de cada tecnología, así como su aplicabilidad en diferentes escenarios. Con esta información, se pueden tomar decisiones informadas al seleccionar la tecnología de almacenamiento más adecuada para satisfacer las necesidades específicas de cada proyecto o sistema energético. Es importante destacar que estas Figuras proporcionan una visión general de las características de las tecnologías permitiendo una comparación preliminar entre ellas.

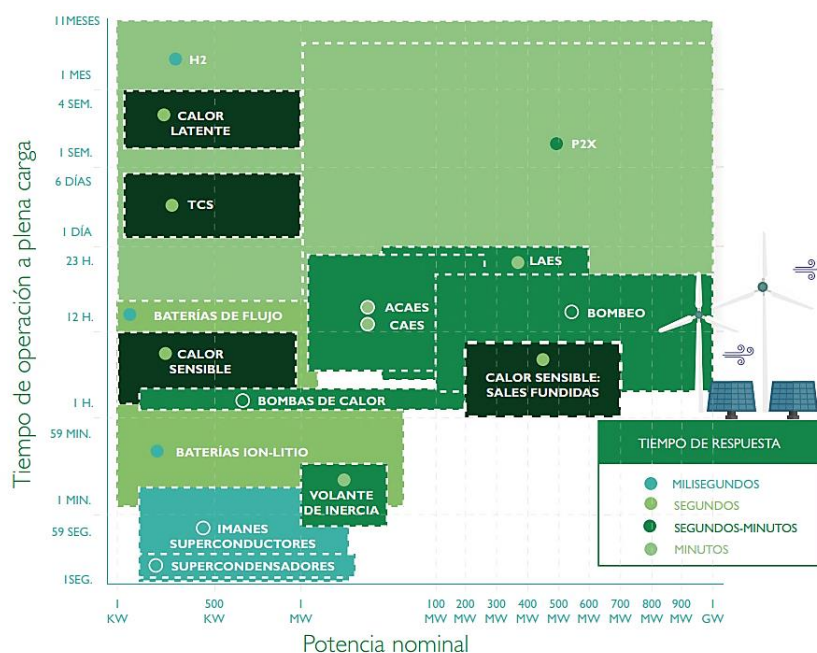



Figura 15. Parámetros de las tecnologías de almacenamiento energético^[5].



TECNOLOGÍA	CAPACIDAD ENERGÉTICA	EFICIENCIA DE CICLO COMPLETO	NIVEL DE MADUREZ	
MECÁNICA	Bombeo (PHS)	1-100 GWh	80%	MUY MADURO
	Bombas de calor (PHES)	500 kWh - 1 GWh	70 - 75%	
	Aire comprimido adiabático (ACAES)	10 MWh - 10 GWh	> 70%	
	Aire comprimido (CAES)	10 MWh - 10 GWh	45 - 60%	
	Aire líquido (LAES)	10 MWh - 8 GWh	50 - 100%	
ELECTROQUÍMICA	Volante de inercia	5 - 10 kWh	85%	MUY MADURO
	Baterías ion-litio	< 10 MWh	86%	
ELÉCTRICA	Baterías de flujo (V, Zn, Fe, Zn Br)	< 100 MWh	70%	MUY MADURO
	Imanes superconductores (SMES)	1 - 10 kWh	> 90%	
QUÍMICA	Supercondensadores	1 - 5 kWh	90%	MUY MADURO
	Power to gas (H2)	Hasta 100 GWh	20 - 40%	
TÉRMICA	Power to X (P2X)	1 MWh - varios GWh	50%	NO MADURO
	Calor sensible: sales fundidas	100 MWh - 10GWh	40 - 60%	
	Calor sensible	10 - 50 kWh	50 - 90%	
	Calor latente (PCM)	50 - 150 kWh	75 - 90%	
	Termoquímico (TCS)	12 - 250 kWh	75 - 100%	

Figura 16. Parámetros de las tecnologías de almacenamiento energético^[5].

Existen diversas opciones para almacenar la energía renovable, pero nos centraremos en las centrales hidráulicas de bombeo, las baterías de iones de litio, el hidrógeno verde y el almacenamiento en sales centrales termoeléctricas. Cada una de estas tecnologías tiene sus ventajas y desventajas que se verán en los siguientes apartados.

1.7.2.1 Centrales hidráulicas de almacenamiento

Esta tecnología almacena energía eléctrica en energía hidráulica en forma de energía potencial. Cuando hay exceso de energía renovable, se usa para bombear agua a un depósito a mayor altitud. Luego, cuando se necesita energía, el agua se libera del depósito superior al depósito inferior a través de una turbina, la turbina transforma la energía hidráulica del agua en energía mecánica y hace girar el generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Esta alternativa es efectiva y ampliamente utilizada en todo el mundo^[9]. Esta tecnología tiene un rendimiento aproximadamente de un 80% según la Figura 16. El almacenamiento de energía mediante bombeo es una de las tecnologías de almacenamiento más maduras y, gracias a su eficiencia y flexibilidad, está implantada a gran escala en toda Europa. Actualmente supone más del 90% de la potencia de almacenamiento instalada a nivel europeo^[5]. A continuación, en la Figura 17 se muestra el proceso de transformación de energía hidráulica en energía eléctrica en una central hidráulica:

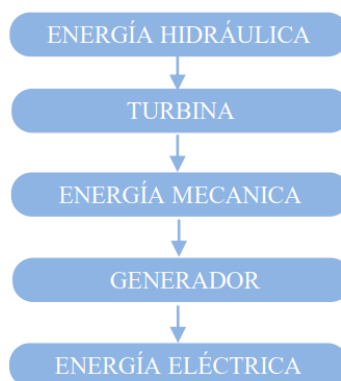


Figura 17. Transformación de E. hidráulica en E. eléctrica en una central hidráulica trabajando en modo generación.

En la Figura 18, se muestra el proceso de transformación de energía eléctrica en energía hidráulica en una central de bombeo trabajando en modo bombeo.

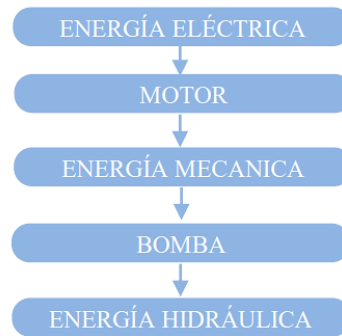


Figura 18. Transformación de E. eléctrica en E. hidráulica en una central hidráulica trabajando en modo bombeo.

Seguidamente se muestra en la Figura 19 un esquema simplificado de una central de bombeo puro:

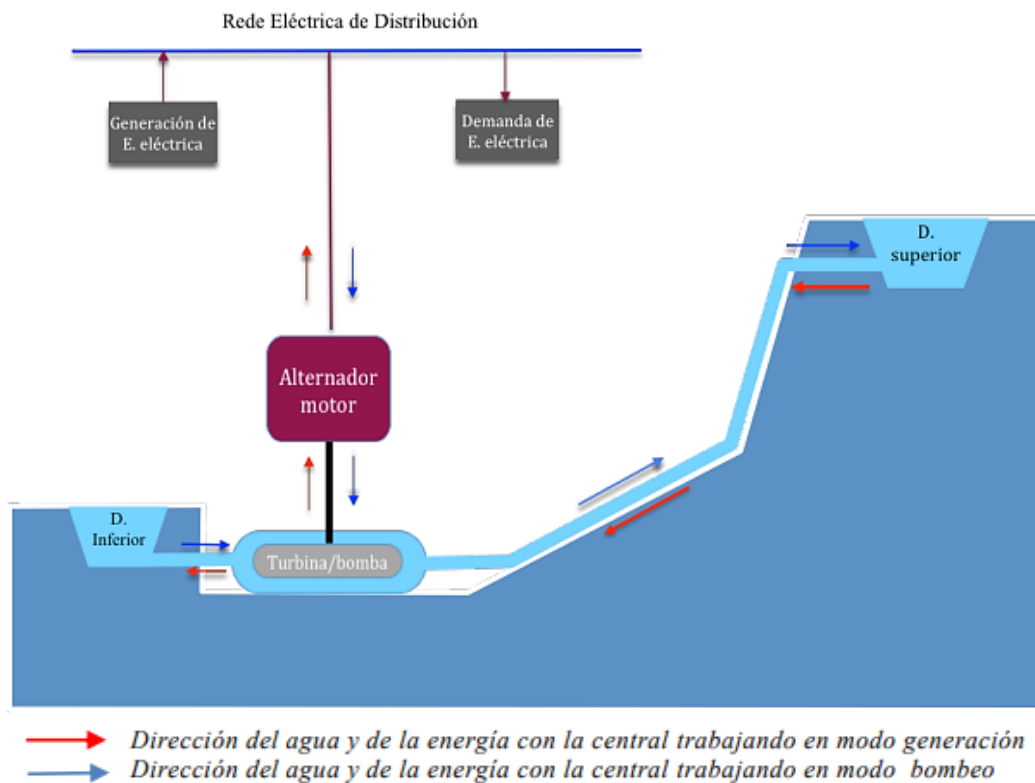


Figura 19. Partes de una central hidroeléctrica.

El alternador / motor es un dispositivo eléctrico versátil que puede operar tanto como generador como motor. Cuando la central trabaja en modo de bombeo, funciona como motor, consumiendo energía eléctrica de la red eléctrica de distribución. En este modo, transforma la energía eléctrica en energía mecánica, haciendo girar la bomba del sistema.

La turbina / bomba es un equipo mecánico reversible que puede funcionar tanto como turbina como bomba. Cuando la central opera en modo de generación, la turbina convierte la energía potencial del agua en energía mecánica, haciendo girar el alternador para generar electricidad. Por otro lado, cuando la central trabaja en modo de bombeo,

la turbina funciona como bomba, transfiriendo agua del depósito inferior al depósito superior. En este modo, la energía mecánica se convierte en energía hidráulica, almacenando la energía en forma de energía potencial.

El complejo hidroeléctrico de Cortes-La Muela es uno de los más grandes de Europa, con una capacidad instalada de más de 1.800 MW en generación y 1.293 MW en bombeo. Esto lo convierte en una importante fuente de energía renovable y una forma eficiente de gestionar la energía eléctrica durante las horas pico, gracias a su capacidad de almacenamiento masivo de electricidad. Además, el depósito superior de este complejo es capaz de almacenar 24GWh de energía. En el caso de Cortes-La Muela^[13], se estima que evita la emisión anual de más de dos millones de toneladas de CO₂. A continuación, se muestra una imagen de dicha central hidráulica:



Figura 20. Complejo hidroeléctrico de Cortes-La Muela.

Dentro de los aprovechamientos hidroeléctricos de regulación, existen dos tipos de bombeo: el bombeo puro y el bombeo mixto. A continuación, se explican las diferencias entre estos dos tipos de centrales de bombeo^[10].

1.7.2.1.1 Centrales de bombeo puro

Las estaciones de bombeo puro son instalaciones que utilizan el almacenamiento hidroeléctrico para equilibrar la oferta y demanda de energía en la red eléctrica. Almacenan energía en forma de energía potencial en un depósito superior durante períodos de baja demanda y exceso de generación. Luego, durante los períodos de alta demanda, liberan el agua almacenada a través de turbinas para generar electricidad.

Las estaciones de bombeo puro solo funcionan para el almacenamiento de energía, no generan energía a partir de un flujo natural de agua como las centrales hidroeléctricas convencionales. Estas estaciones no cuentan con un sistema de aporte de agua natural.

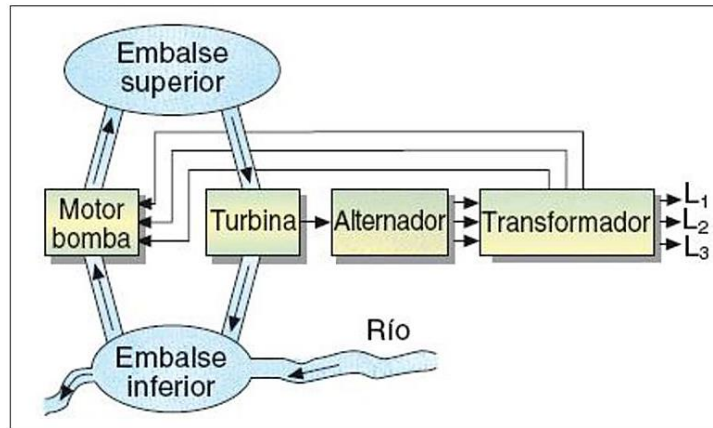


Figura 21. Esquema central de bombeo puro.

1.7.2.1.2 Centrales de bombeo mixto

Las estaciones de bombeo mixto combinan las características de las centrales hidroeléctricas convencionales y las estaciones de bombeo puro. En estas instalaciones, el agua se almacena en un embalse superior, pero también hay un flujo natural de agua que alimenta el sistema. La energía se genera tanto a través del flujo de agua natural como del agua bombeada desde el embalse inferior.

A diferencia de las estaciones de bombeo puro, las estaciones de bombeo mixto utilizan tanto el almacenamiento de energía como la generación a partir de flujos de agua naturales. Esto les permite ser más versátiles y generar energía de manera más continua en comparación con las estaciones de bombeo puro.

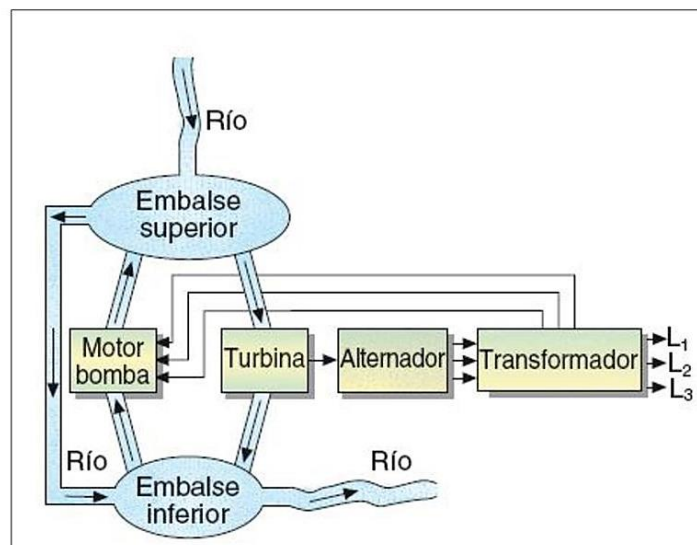


Figura 22. Esquema central de bombeo mixto.

Un ejemplo de estas obras de ingeniería en España es la presa de Almendra y la central de Villarino, situadas en el noroeste de la provincia de Salamanca, en la frontera de agua entre el Tormes y el Duero^[11]. A continuación, se muestra un esquema de dicha central:

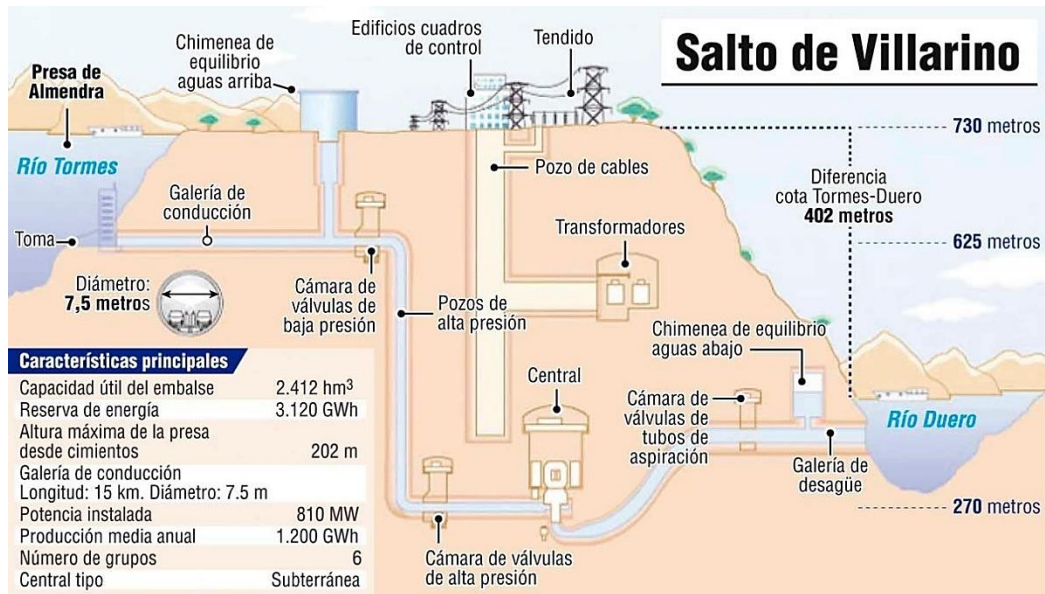


Figura 23. Esquema de la central hidráulica de bombeo mixto en Villarino de los Aires.

1.7.2.2 Baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio son una tecnología de almacenamiento de energía muy prometedora. Las baterías de almacenamiento de energía a gran escala pueden tener una capacidad de 1 GWh siendo estas de las de mayor capacidad^[12]. Estas baterías tienen una alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar mucha energía en poco espacio. También son muy eficientes energéticamente con un gran rendimiento de carga y descarga aproximadamente de un 86% según la Figura 16. Sin embargo, su coste todavía es relativamente alto.

En el caso del almacenamiento de energía a gran escala, se utilizan baterías de iones de litio de alta capacidad, que están formadas por módulos o bloques individuales de baterías. Estos bloques se conectan en serie y paralelo para formar un sistema de almacenamiento de energía completo. A continuación, se muestra un esquema del su funcionamiento.

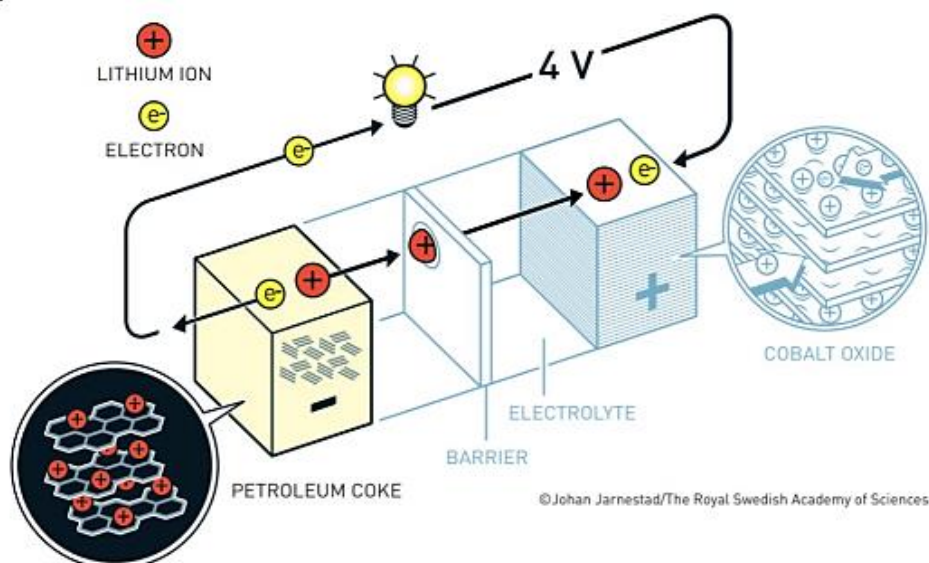


Figura 24. Esquema de funcionamiento de una batería de ion litio.

1.7.2.3 Hidrógeno verde

El hidrógeno verde se produce a través de la electrólisis del agua utilizando energía renovable. Este hidrógeno se puede almacenar y luego se usa para generar electricidad a través de una pila de combustible. Aunque el proceso de producción de hidrógeno es costoso, esta tecnología es muy interesante porque el hidrógeno se puede utilizar como combustible en otros sectores.

Producir H₂ a gran escala, requiere de grandes inversiones en infraestructuras y tecnologías para producir, almacenar y transportar el hidrógeno. Se requerirían grandes instalaciones de energía renovable para proporcionar la electricidad necesaria para la producción de hidrógeno. Además, se necesitarían grandes sistemas de almacenamiento de hidrógeno, como tanques criogénicos, para mantener grandes cantidades de hidrógeno almacenado.

La producción a gran escala de hidrógeno verde también requeriría una red de transporte y generación para llevar el hidrógeno desde las instalaciones de producción hasta los puntos de consumo. Esto implicaría la construcción de infraestructuras de transporte y almacenamiento, como tuberías y terminales de almacenamiento^[14]. Almacenar H₂ para volver a generar E. eléctrica, tiene un rendimiento energético muy bajo, del orden de un 34%.

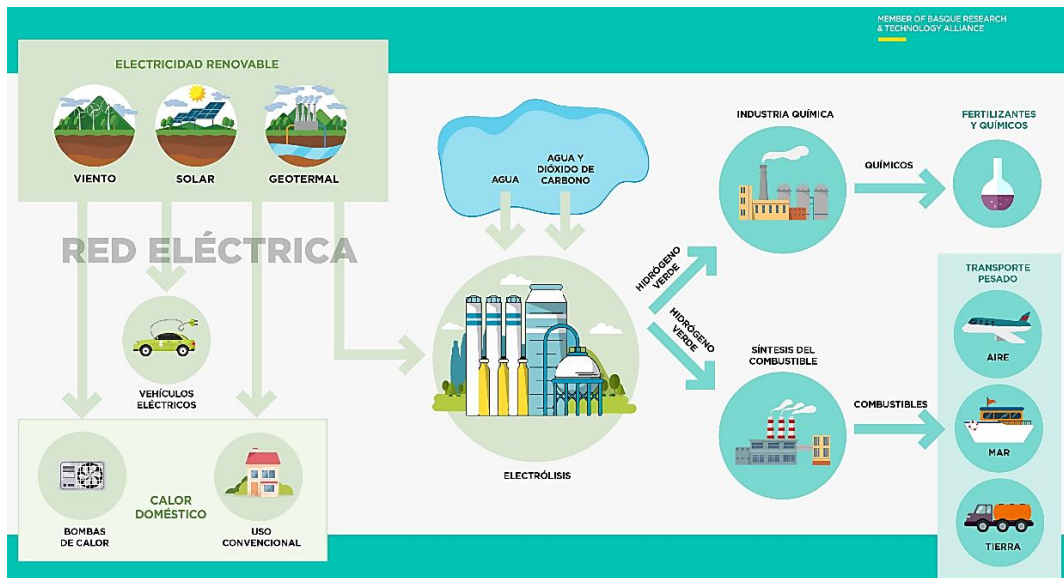


Figura 25. Esquema producción hidrogeno verde.

1.7.2.4 Almacenamiento en sales centrales termoeléctricas

El almacenamiento en sales fundidas es una forma de almacenar energía térmica en sales líquidas para producir electricidad. Las sales fundidas son creadas a partir de la fusión de sales comunes a altas temperaturas y tienen propiedades estables y similares al agua. Las centrales solares térmicas utilizan una mezcla de nitritos y nitratos de sodio como sales fundidas. Las sales fundidas fluyen por tuberías hasta un depósito aislado térmicamente y se hace circular a través de un intercambiador de calor. Luego, el calor generado por las sales se transfiere al agua para producir vapor y mover una turbina para generar electricidad. La gran ventaja de este tipo de central es que el calor se mantiene en las sales fundidas de forma eficiente, permitiendo que las turbinas generen electricidad incluso después de que el sol se haya ido.

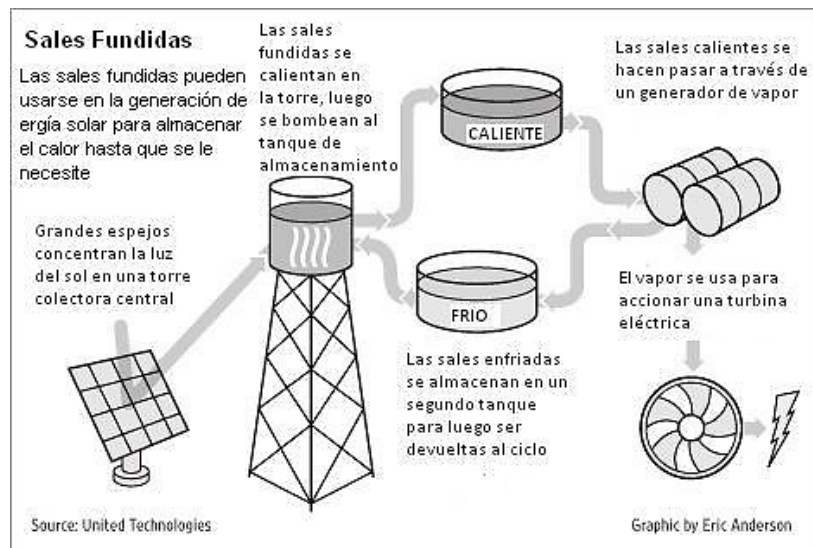


Figura 26. Esquema almacenamiento en sales centrales termoeléctricas^[15].

1.7.2.5 Resultados almacenar de energía intermitente

Las centrales hidráulicas de almacenamiento son una buena opción para almacenar energía intermitente debido a su capacidad de almacenamiento a gran escala y su larga vida útil. Además, una vez construidas, no requieren un suministro constante de materiales para mantenerse, lo que puede hacer que sean una opción más sostenible a largo plazo. Sin embargo, tienen algunas limitaciones, como la necesidad de disponer de una topografía específica. También tienen un rendimiento energético menor que las baterías de iones de litio.

Las baterías tienen algunas limitaciones en términos de capacidad de almacenamiento, tiempo de vida útil y reciclabilidad. Además, su producción requiere la extracción de minerales y materiales que pueden ser escasos o contaminantes, y su eliminación inadecuada puede tener impactos ambientales negativos. En general, aunque las baterías son una opción viable para el almacenamiento de energía, su uso a gran escala aún presenta algunos desafíos que deben ser abordados.

El almacenamiento de energía mediante hidrógeno verde tiene un gran potencial para permitir una mayor integración de las energías renovables en la red eléctrica. Sin embargo, todavía existen desafíos tecnológicos, económicos y de infraestructura que deben mejorarse para que esto sea viable.

Por otro lado, las centrales termoeléctricas con almacenamiento en sales fundidas ofrecen una eficiencia media (entre un 40-60% según la Figura 16) y una gran capacidad de almacenamiento. Sin embargo, pueden ser más costosas y requerir condiciones específicas para su implementación.

En conclusión, aunque existen varias opciones para el almacenamiento de energía renovable a gran escala, las centrales hidroeléctricas de bombeo pueden ser una de las mejores opciones debido a su capacidad de almacenamiento a gran escala y larga vida útil. La elección de la mejor opción de almacenamiento de energía renovable dependerá de múltiples factores, como la ubicación geográfica y las condiciones locales, y debe considerar el costo, la eficiencia, la capacidad de almacenamiento y la sostenibilidad ambiental.

En el siguiente esquema se presentan las medidas recomendadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en 2021 para llevar a cabo la estrategia de almacenamiento impulsada.

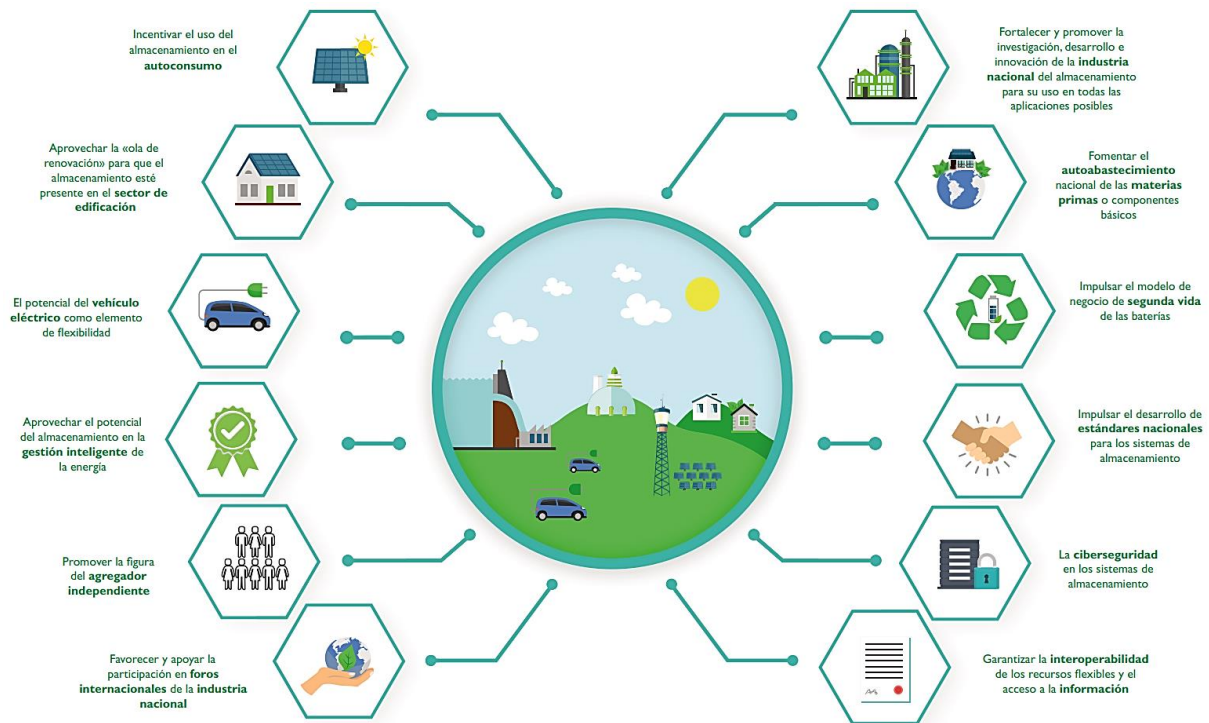


Figura 27. Medidas para desarrollar la estrategia de almacenamiento^[5].

1.8 Adaptación de la generación a la demanda

1.8.1 Necesidad de adaptar la generación a la demanda

La cadena de suministro de energía eléctrica comienza con su generación en las centrales eléctricas, donde se utilizan diversas fuentes de energía para producir electricidad. Posteriormente, la energía eléctrica generada es transmitida a través de líneas de transmisión de alta tensión, que transportan la electricidad a largas distancias hasta llegar a las subestaciones eléctricas.

En estas subestaciones, la electricidad es transformada a un voltaje más bajo y distribuida a través de líneas de distribución que llevan la electricidad a los hogares, empresas y otros lugares donde se utiliza la energía eléctrica. Finalmente, la energía eléctrica es comercializada y vendida a los consumidores a través de empresas de servicios públicos o compañías de energía eléctrica. A continuación, se muestra un esquema de la cadena de la electricidad^[16]:

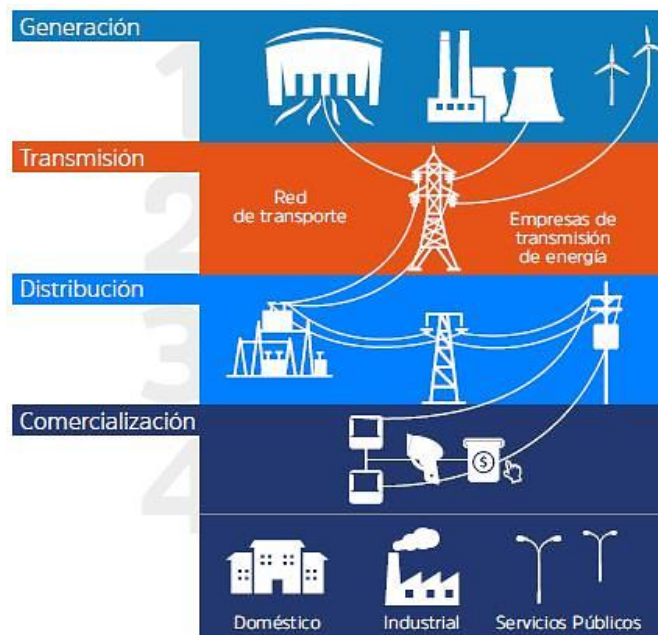


Figura 28. Cadena de la energía eléctrica.

La necesidad de adaptar la generación eléctrica con la demanda es un aspecto crucial en el funcionamiento de cualquier sistema de suministro de energía eléctrica. Para que un sistema de generación y suministro de E. eléctrica funcione de forma adecuada, hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Estabilidad del sistema eléctrico:** El equilibrio entre la generación y la demanda garantiza la estabilidad de la red eléctrica, evitando que los voltajes y las frecuencias se desvíen de los niveles seguros y adecuados. Los desequilibrios en la generación y la demanda pueden provocar fluctuaciones de frecuencia y en casos extremos, apagones.
- **Eficiencia energética:** Cuando la generación eléctrica es igual a la demanda, se minimiza la capacidad requerida de almacenamiento y se reducen las pérdidas de energía en dicho proceso. La eficiencia energética es fundamental para reducir los costos de producción y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Calidad del suministro:** Un suministro de energía constante y confiable es esencial para el funcionamiento de los hogares, industrias y servicios públicos. Al garantizar que la generación eléctrica se ajuste a la demanda, se mantiene una calidad de suministro adecuada y se evitan interrupciones en los servicios.
- **Flexibilidad en la generación de energía:** El equilibrio entre generación y demanda requiere que el sistema eléctrico sea capaz de adaptarse a las fluctuaciones en la demanda y a la disponibilidad de las fuentes de energía. Este desafío es aún mayor con la creciente participación de las energías renovables, como la solar y la eólica, en la matriz energética, ya que su generación es intermitente y depende de factores ambientales. Los sistemas de almacenamiento de energía y las tecnologías de respuesta a la demanda son fundamentales para mantener el equilibrio en este contexto.

1.8.2 Adaptación de la generación de E. eléctrica a la demanda de dicha energía

Para que un sistema eléctrico funcione de forma estable, la adaptación de la generación de E. eléctrica a la demanda de dicha energía hay que realizarla de forma continua, pero para facilitar los cálculos, los balances de generación y demanda los hacemos horarios. Con estas simplificaciones se cometen ciertos errores, pero tenemos precisión suficiente para determinar si es viable ajustar la generación de E. eléctrica a la demanda, que es el objetivo de este TFM.

Para adaptar la generación con plantas EOL y SFV a la demanda de E. eléctrica, se requiere un sistema que almacene E. eléctrica cuando la generación es superior a la demanda, y suministre dicha energía cuando la demanda es superior a la generación. En el Apartado 1.7.2 se muestran las distintas tecnologías de almacenamiento E. eléctrica, y las que se considera que son más adecuadas para almacenar del orden de GWh.

En este TFM nos limitaremos a determinar la viabilidad de adaptar la generación a la demanda en el sistema eléctrico peninsular (no tenemos en cuenta el consumo en las islas) y planteamos almacenar E. eléctrica en forma de energía potencial por medio de las centrales hidráulicas, pero el planteamiento es válido para cualquier sistema de almacenamiento de energía eléctrica: baterías; sales fundidas; etc...

Las centrales hidráulicas junto con las presas de almacenamiento de agua nos permiten almacenar energía eléctrica cuando la generación es superior a la demanda (zona (+) de la curva verde de la Figura 29) y descargar dicha energía cuando la generación es inferior a la demanda (zona (-) de dicha curva). Dichas centrales, cuando trabajan en modo generación, transforman la E. potencial del agua almacenada en los embalses, en E. eléctrica. Cuando trabajan en modo bombeo, transforman el exceso de energía eléctrica generada, en E. potencial subiendo agua de una cota inferior a una cota superior. (ver Apartado 1.7.2.1).

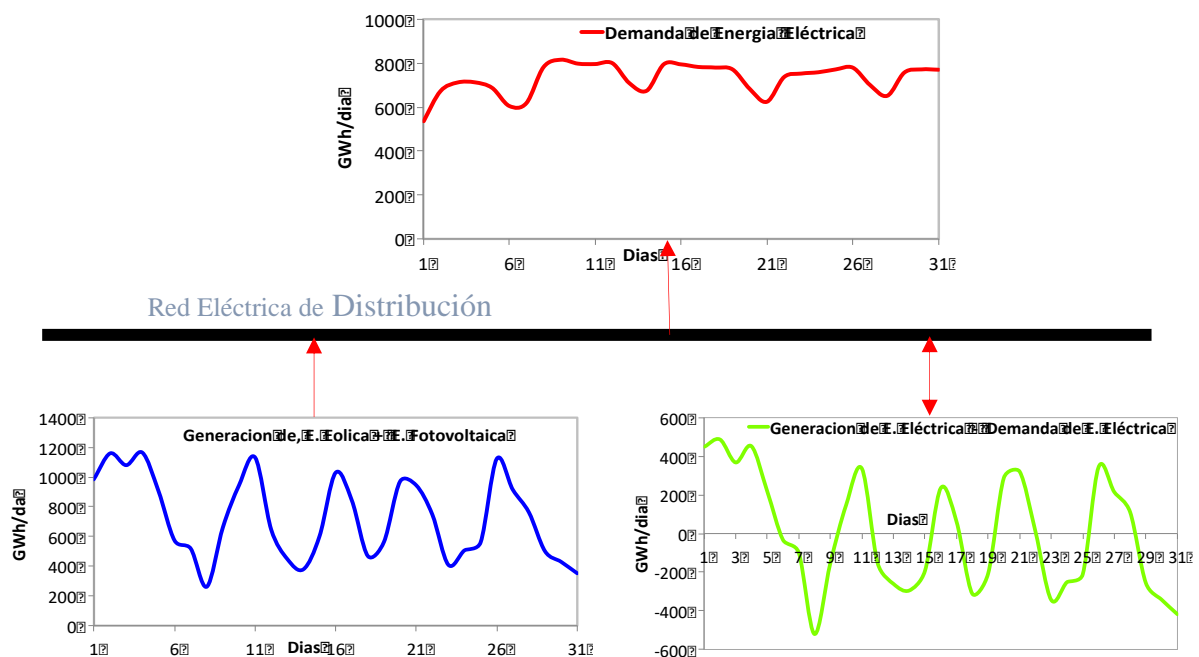


Figura 29. Perfiles de demanda diaria de E. eléctrica, generación de E. eléctrica con plantas EOL y SFV, y diferencia entre la generación de E. eléctrica y la demanda (enero 2018).

La Figura 29 muestra la demanda diaria de energía eléctrica en España durante enero de 2018 junto con una simulación de la energía eléctrica generada por plantas eólicas y fotovoltaicas con potencias de 76.8 GW y 38.3 GW, respectivamente. En esta simulación, la cantidad de energía eléctrica generada por estas plantas es igual a la demanda de energía eléctrica.

En dicha Figura se puede apreciar que en los sistemas eléctricos en los que la generación de E. eléctrica con EOL y SFV es predominante, para adaptar la generación a la demanda es necesario un sistema que almacene E. eléctrica cuando la generación es superior a la demanda, y la descargue cuando la demanda es superior a la generación.

1.8.3 Desarrollo sistema de adaptación de la generación a la demanda

Para desarrollar un sistema que nos permita adaptar la generación de E. eléctrica a la demanda, tomamos como referencia la demanda de E. eléctrica y E. térmica del año 2018 y, los perfiles horarios de generación de E. eléctrica con plantas EOL y SFV de dicho año. En el ANEXO 3.1.1 se muestran los perfiles diarios de Demanda de E. eléctrica y de generación de EOL y SFV (GWh/GW_{ins}) del año 2018. A modo de ejemplo, en el Anexo 3.1.2 se muestran los Valores horarios de la Demanda de la Red Eléctrica con SFV, EOL, Ster y otras fuentes renovables (GWh/GW_{ins}) en enero de 2021.

Para trabajar con datos reales, se hace la hipótesis que el año 2018 (no hay datos de IDEA posteriores 2018), se han sustituido todas las centrales termoeléctricas que consumen E. fósil para generar E. eléctrica, por plantas EOL y SFV. Por consiguiente, todos los valores de demanda y perfiles horarios de generación de energía con energías renovables están referidos a los del año 2018. Mas adelante se demostrará que los resultados obtenidos pueden ser aplicados a años posteriores.

1.8.4 Parámetros fundamentales del sistema de adaptación de la generación a la demanda

Los parámetros fundamentales los dimensionamos para suministrar con plantas EOL y SFV + [1], el 95% de la demanda total de la E. eléctrica de cada uno de los alcances propuestos.

El sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda queda definido por los siguientes parámetros: potencia de las centrales hidráulicas convencionales, de bombeo Mixto y de bombero puro; potencia de las centrales de E. gestionable; potencia de las plantas EOL y SFV; potencia [1]; capacidad del sistema de almacenamiento de ciclo estacional y ciclo diario; el aporte de E. gestionable; y la E. renovable que no podemos aprovechar.

[1] Incluye las otras renovables actuales: Solar termoeléctrica; residuos; biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.

1.8.4.1 Almacenamiento estacional y ciclo diario

La adaptación de la generación de E. eléctrica con plantas EOL y SFV a la demanda de E. eléctrica, plantea dos problemas de almacenamiento distintos: el estacional, y el de ciclo diario.

El Sistema de Almacenamiento de Ciclo Estacional (SACE) debe tener capacidad para poder almacenar el exceso de E. eléctrica generada con E. renovables, durante periodos de tiempo que pueden ser de días o meses, y descargar la energía almacenada cuando la demanda de E. eléctrica sea superior a la E. eléctrica generada. El sistema propuesto está formado por: las centrales hidráulicas (convencionales y de Bombeo

mixto (B. mixto); los embales de dichas centrales, y un sistema de aporte de energía gestionable para casos puntuales.

El Sistema de Almacenamiento de Ciclo Diario (SACD) entra en funcionamiento en los picos horarios de generación de E. eléctrica, en los que las centrales de B. mixto no tienen capacidad suficiente para almacenar el Exceso E. eléctrica Renovable Generada (E.ERG) [2]. Debe tener capacidad almacenar el E.ERG en los picos de generación del ciclo diario, y descargar la E. almacenada cuando la generación de E. eléctrica sea inferior a la demanda. El sistema propuesto está formado por centrales hidráulicas de Bombeo puro (B. puro), y los depósitos inferior y superior de dichas centrales.

[1] Incluye las otras renovables actuales: Solar termoeléctrica; residuos; biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.

[2] $E.ERG = \text{Capacidad de generación de E. eléctrica con renovables} - \text{demanda de energía eléctrica}$.

1.8.4.2 Aporte de energía gestionable

El aporte de energía gestionable es un parámetro fundamental en la adaptación de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, como la eólica y la solar, a la demanda eléctrica. El sistema propuesto está formado por plantas termoeléctricas de E. renovable gestionable, y/o Centrales de Ciclo Combinado (C.C.C).

1.8.4.3 Energía renovable no aprovechada

La energía renovable no aprovechada hace referencia a la capacidad de generación de E. eléctrica con E. renovables que no se puede aprovechar.

1.8.5 Criterios para el desarrollo del sistema de almacenamiento

Para desarrollar el sistema de almacenamiento de energía eléctrica renovable, se han establecido una serie de criterios fundamentales:

- Aprovechar toda la energía hidráulica disponible en las centrales hidráulicas, ya sean convencionales o de bombeo mixto, así como toda la energía eléctrica generada por fuentes renovables como la energía solar termoeléctrica, residuos, biomasa, hidráulica marina, geotermia, y cualquier otra fuente de energía renovable que genere electricidad.
- Limitar el aporte de energía eléctrica gestionable a un máximo del 5% del total de la energía eléctrica aportada a la red, y reducir al máximo la cantidad de energía renovable no aprovechada.
- Si la generación horaria con energía renovable es superior a la demanda, entran en servicio las centrales de bombeo mixto trabajando en modo bombeo. Si estas centrales no son suficientes, se activan las centrales de bombeo puro en modo bombeo. Si aun así la generación no es suficiente, se deben parar las plantas de energía EOL y/o SFV.
- Por otro lado, si la generación horaria con renovables es inferior a la demanda, entran en servicio las centrales de bombeo puro trabajando en modo generación. Si esto no es suficiente, se activan las centrales hidráulicas convencionales y las de bombeo mixto en modo generación. Si aun así no se cubre la demanda, se activan las centrales de energía gestionable.

Para poder determinar los parámetros fundamentales de sistema de adaptación de la generación a la demanda, se ha desarrollado un programa de cálculo que permite determinar la potencia óptima de las plantas de energía EOL y SFV, la cantidad de

energía gestionable que debe aportarse, la cantidad de energía renovable no aprovechada, la potencia de las centrales de bombeo mixto y de bombeo puro, la potencia de las centrales de energía gestionable, y la capacidad mínima requerida tanto del SACD (en GWh/día) como del SACE (en GWh/año).

Nota: Cuando se hace referencia al Energía Gestionable y Energía Renovable, no se tiene en cuenta la E. Hidráulica.

1.8.6 Determinación de los parámetros fundamentales del sistema de adaptación de generación de E. eléctrica, a la demanda

Para el desarrollo del sistema de almacenamiento, se han definido los parámetros fundamentales para los siguientes alcances:

A. Sustituir las energías fósiles utilizadas actualmente para generar energía eléctrica por EOL y SFV con las CN paradas.

A.1 Poner las CN actuales en servicio y sustituir el resto de las energías fósiles utilizadas actualmente para generar energía eléctrica por energía EOL y SFV.

B. Sustituir las energías fósiles de la opción A y las energías fósiles utilizadas para calefacción y agua caliente sanitaria en los siguientes sectores: comercio, servicios, administraciones públicas y residencial con las CN actuales paradas.

B.1 Poner las CN actuales en servicio y sustituir el resto de las energías fósiles utilizadas actualmente para generar energía eléctrica por energía EOL y SFV.

C. Sustituir las energías fósiles de la opción B y las energías fósiles utilizadas en los vehículos de transporte privado con motores de combustión interna con las CN actuales paradas.

C.1 Poner las CN actuales en servicio y sustituir el resto de las energías fósiles utilizadas actualmente para generar energía eléctrica por energía EOL y SFV.

D. Sustituir las energías fósiles de la opción C y las energías fósiles utilizadas en camiones, vehículos ligeros y autobuses con motores de combustión interna con las CN actuales paradas.

D.1 Poner las CN actuales en servicio y sustituir el resto de las energías fósiles utilizadas actualmente para generar energía eléctrica por energía EOL y SFV.

Se llevará a cabo un análisis para evaluar las diferencias entre las cuatro opciones seleccionadas. Este análisis permitirá obtener una evaluación detallada de las diferentes ventajas y desventajas de cada opción.

1.9 Resultados finales

1.9.1 Determinación parámetros fundamentales opción A

España tiene un gran potencial de energía renovable, ya que es uno de los países europeos con mayor cantidad de horas de sol y viento. Por tanto, la energía renovable puede ser una fuente más sostenible y menos dependiente de los recursos externos. No obstante, aún dependemos en gran medida de las energías fósiles para satisfacer nuestras necesidades energéticas. De acuerdo con las estadísticas de 2018 tal como se muestra en el gráfico siguiente, las energías renovables solo representaron el 13.9% del consumo de energía primaria en el país, mientras que las energías fósiles representaron el 74.6%. Esto sugiere que todavía queda un largo camino por recorrer en términos de transición hacia un sistema de energía más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

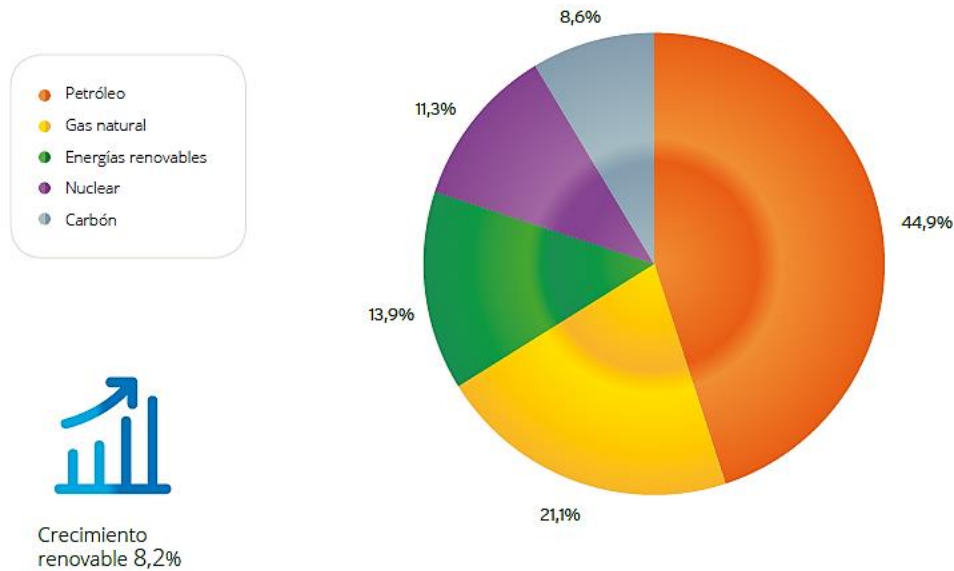


Figura 30. Consumo de energía primaria en España en 2018^[17].

Tabla 2. Balance del consumo de E. fósiles en España en el año 2018 en ktep^[18].

Tipo de fuente	Tipo de utilización (ktep)		
	Energía primaria	Energía final	Energía eléctrica
Carbón	11516	1538	9978
Productos petrolíferos	57512	44319	13193
Gas natural	27082	14271	12811
Nuclear	14479	0	14479
Total	110589	60128	50461
Porcentaje (%)		54.37	45.63

Tabla 3. Balance del consumo de E. fósiles en España en el año 2018 en GWh^[18].

Tipo de fuente	Tipo de utilización (GWh)		
	Energía primaria	Energía final	Energía eléctrica
Carbón	133931	17887	116044
Productos petrolíferos	668865	515430	153435
Gas natural	314964	165972	148992
Nuclear	168391	0	168391
Total	1286150	699289	586861

E. primaria: Energía disponible en la naturaleza antes de ser transformada (Carbón, petróleo, etc...).

E. final: La energía que llega al consumidor.

Tabla 4. Generación de energía eléctrica en España en el año 2018, en función del tipo de fuente^[18].

Tipo de fuente	GWh / año
Carbón	38716
Nuclear	55766
Gas natural	58004
Productos petrolíferos	14498
Total energías fósiles	166984
Energías renovables	103885

1.9.1.1 Determinación opción A

La primera opción implica sustituir la generación de energía eléctrica obtenida a partir de las energías fósiles (petróleo, gas y carbón y nuclear), por generación de E. eléctrica a partir de fuentes renovables. Esto contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que a su vez contribuye al calentamiento global y al cambio climático. A continuación, se muestra un esquema que representa el camino que sigue la energía desde su origen en las fuentes de energía primaria hasta su uso final.

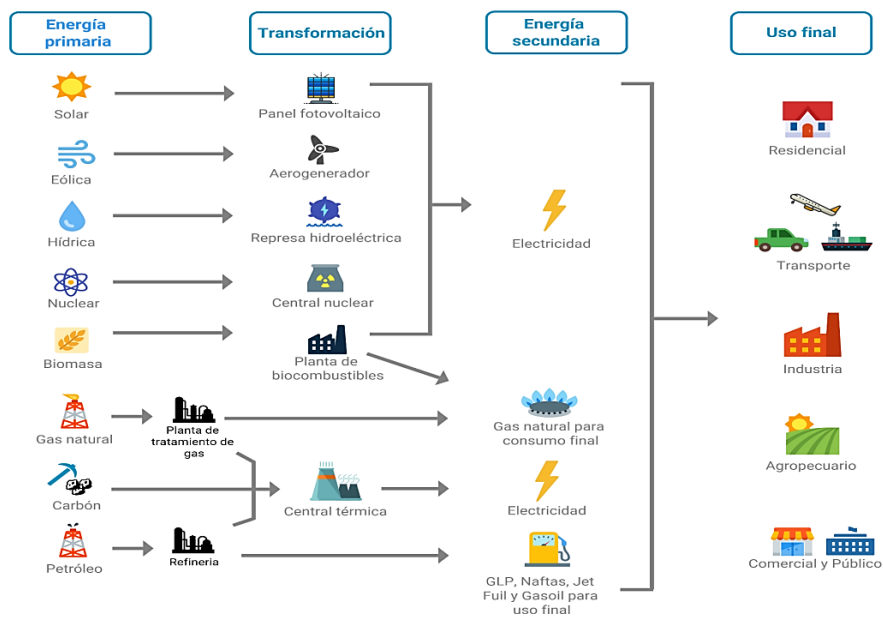


Figura 31. Esquema energía primaria, energía final y energía eléctrica^[19].

La energía primaria es la energía en su forma original, tal como se encuentra en la naturaleza. Puede provenir de diferentes fuentes, como el petróleo, el gas natural, el carbón, la energía solar, la energía eólica, entre otras. Es la energía que se encuentra en su estado natural y aún no ha sido convertida o utilizada para un propósito específico.

La energía final es la energía que se obtiene después de pasar por procesos de transformación y conversión. Es la energía que está disponible para su uso en aplicaciones específicas, como la calefacción de un hogar o el funcionamiento de un vehículo. La energía final puede presentarse en diferentes formas, como la electricidad, la gasolina, el gas natural o el combustible para calefacción.

1.9.1.2 Cálculo E. eléctrico necesario

En la Tabla 5 se representa el consumo de energía eléctrica necesario. Estos valores indican la cantidad de energía eléctrica requerida anualmente para satisfacer las necesidades de la opción A.

Tabla 5. Consumo de energía eléctrica en la opción A.

Consumo de energía eléctrica	Valor
Demanda de REE (GWh/año)	245748

1.9.1.3 Perfil de la demanda eléctrica

La información referente a los perfiles diarios de la demanda de energía eléctrica se encuentra detallada en el Anexo 3.1.1. Seguidamente en el Anexo 3.1.2 se encuentran los Valores horarios de la Demanda de la Red Eléctrica con SFV, EOL, Ster y otras fuentes renovables (GWh/GW_{ins}) en enero de 2021.

1.9.1.4 Determinación parámetros fundamentales opción A

Para determinar los parámetros fundamentales del sistema de adaptación de la generación de energía eléctrica a la demanda en la opción A, seguimos los siguientes pasos:

Se introduce en el programa de cálculo la potencia de todas las fuentes de energía renovable actualmente disponibles, así como la potencia de las centrales de bombeo mixto (2.26 GW) y bombeo puro (3.3 GW), y la capacidad del sistema de almacenamiento de energía (SACD) de 76 GWh.

Se ejecuta el programa manteniendo la potencia EOL igual a la potencia SFV, se va incrementando la potencia de ambas fuentes, hasta que el aporte de energía gestionable represente aproximadamente el 5% del total de la demanda de energía eléctrica, y se completa la Tabla 6 con los resultados obtenidos.

1.9.1.4.1 Determinación de la capacidad del SACD optima

Manteniendo las potencias determinadas en el paso anterior, se aumenta la capacidad del SACD a los siguientes valores: 80, 100, 150, 200, 300 y 400 GWh. Vamos ajustando la potencia de EOL y SFV para asegurar nuevamente que el aporte gestionable de energía represente el 5%, y se completa la Tabla 6 con los valores correspondientes a las diferentes capacidades del SACD.

Tabla 6. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la capacidad del SACD.

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0	0	61,0	132376	61,0	90962	2,3	3,3	80	13152	5,0	29772	12,7	36,5
0	0	60,9	132158	60,9	90813	2,3	3,3	100	13122	5,0	29369	12,5	36,5
0	0	60,7	131724	60,7	90514	2,3	3,3	150	13055	5,0	28540	12,2	36,5
0	0	60,4	131073	60,4	90067	2,3	3,3	200	13153	5,0	27515	11,8	36,5
0	0	60,1	130422	60,1	89620	2,3	3,3	300	13177	5,0	26514	11,5	36,5
0	0	60,0	130205	60,0	89471	2,3	3,3	400	13113	5,0	26169	11,3	36,5

[1] % del aporte con E. Eléctrica aportada con E. gestionable, del total de E. eléctrica aportada a la red de distribución.

[2] % del total de E. Eléctrica que se puede generar con E. renovables, que no se puede aprovechar.

1.9.1.4.2 Determinación de la potencia óptima de las centrales de B. puro

Se mantiene la capacidad del SACD en 200 GWh y se aumenta la potencia de las centrales de bombeo puro (3.3; 5; 8; 10; 12; 15 GW). Se ajusta la potencia de las fuentes (EOL y SFV) para lograr un aporte de energía gestionable cercano al 5% del total de energía eléctrica generada. Se completa la Tabla 7 con los resultados correspondientes a las diferentes potencias de las centrales de bombeo puro.

Tabla 7. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la Potencia de las Centrales de B. puro.

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0	0	60,4	131073	60,4	90067	2,3	3,3	200	13153	5,0	27515	11,8	36,5
0	0	58,6	127167	58,6	87383	2,3	5,0	200	13277	5,0	20854	9,2	36,5
0	0	56,4	122393	56,4	84102	2,3	8,0	200	13490	5,0	12777	5,9	36,6
0	0	55,5	120440	55,5	82760	2,3	10,0	200	13583	5,0	9446	4,4	36,7
0	0	55,0	119355	55,0	82015	2,3	12,0	200	13597	5,0	7522	3,5	36,7
0	0	54,6	118487	54,6	81418	2,3	15,0	200	13747	5,0	6140	2,9	36,7

Al analizar las Tablas 6 y 7, se observa la necesidad de encontrar un equilibrio entre las inversiones requeridas para aumentar la potencia de las centrales de bombeo puro, la capacidad del Sistema de Almacenamiento de Energía en Centrales de Bombeo Mixto (SACD) y la energía renovable que no se puede aprovechar.

En todas las opciones siguientes, se establece una capacidad de 200 GWh para el SACD y una potencia de 10 GW para las centrales de bombeo puro. Esta decisión se ha tomado debido a que, en el caso del SACD, a medida que se incrementan los GWh, la cantidad de energía renovable no aprovechada disminuye significativamente al principio, pero luego va bajando más suave. Cuando aumentamos el SACD de 150 GWh a 200 GWh, el porcentaje disminuye en un 0.4%. Sin embargo, al aumentar el SACD a 300 GWh, solo disminuye un 0.3% por 100 GWh adicionales. En el caso de las centrales de bombeo puro, al aumentar de 8 GW a 10 GW, la energía renovable no aprovechada aumenta en un 1.5%. Sin embargo, al aumentar de 10 GW a 12 GW, solo disminuye un 0.9%. Todas estas decisiones requieren un análisis más detallado para encontrar la mejor solución.

1.9.1.4.3 Determinación de la relación potencia óptima entre las plantas EOL y SFV

La relación óptima entre la potencia eólica y la potencia solar fotovoltaica desempeña un papel importante en la cantidad de energía renovable que no se puede aprovechar. En la Tabla 8 se muestra cómo varía esta energía no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV.

Tabla 8. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =0).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	0,0	0	55,5	120440	55,5	82760	2,3	10,0	200	13583	5,0	9446	4,4	36,7
1,5 EOL=SFV	0,0	0	48,0	104164	72,0	107365	2,3	10,0	200	13881	5,0	17520	7,9	36,9
2 EOL=SFV	0,0	0	43,7	94833	87,4	130329	2,3	10,0	200	14168	5,0	31119	13,2	35,7
EOL=1,5 SFV	0,0	0	64,2	139320	42,8	63822	2,3	10,0	200	13331	5,0	9633	4,5	36,4
EOL=2 SFV	0,0	0	70,4	152774	35,2	52489	2,3	10,0	200	13129	5,0	11738	5,4	36,2

En este caso, se puede observar que la relación óptima entre EOL y SFV se alcanza cuando las potencias de ambas fuentes son iguales. Los valores de estas potencias son 55.5 GW tanto como para la potencia EOL como para la SFV. Esta conclusión se basa en que con esta configuración obtiene el valor más bajo de energía renovable no aprovechada.

Una vez analizadas las Tablas 6, 7 y 8, los parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la Generación a la demanda son los indicados en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción A. (Centrales Nucleares paradas y Potencia EOL= Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0,0	0	55,5	120440	55,5	82760	2,3	10,0	200	13583	5,0	9446	4,4	36,7

1.9.1.4.4 Balances horarios del día 7 de mayo de 2018

A modo de ejemplo en la Tabla 10 se muestran los resultados de la simulación realizada para determinar los parámetros fundamentales del SACD. Estos resultados son fundamentales para comprender como se adapta la generación a la demanda, y determinar los valores máximos que son utilizados para determinar los parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda.

Tabla 10 Balances horarios para adaptar la generación de E. eléctrica a la demanda de dicha energía **el día 7 de mayo de 2018**. Potencias: **EOL 55.5GW; SFV 55.5 GW; Nuclear 0 GW; B. Mix. 2.26 GW;** B. Puro 10 GW Capacidad SACD 200 GWh.

Generación y Demanda de Energía Eléctrica (GWh)								Adaptación de la Generación Energía Eléctrica a la Demanda (GWh)									
Hora	EOL	SFV	Ster	***	Total E. renovable	Nuclear	Demanda Total de E. eléctrica	Aporte de E. eléctrica a RED				Consumos de E. eléctrica				Almacenamiento E. eléctrica en SACD	E. Renovable NO Aprovechada
								Renovable	Nuclear	Hidráulica + Gestionable	Centrales B.puro	Disponible para B. Mixto	Consumo para B. Mixto	Consumo para B. puro	Perdidas por B. Puro		
0	12,2	0,1	0,5	0,8	13,6	0,0	24,3	13,6	0,0	1,2	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	70,1	0,0
1	11,8	0,1	0,5	0,8	13,2	0,0	23,0	13,2	0,0	0,5	9,8	0,0	0,0	0,0	0,5	60,1	0,0
2	11,5	0,1	0,6	0,8	13,0	0,0	22,3	13,0	0,0	0,5	9,3	0,0	0,0	0,0	0,5	50,3	0,0
3	12,2	0,1	0,6	0,8	13,7	0,0	22,1	13,7	0,0	0,4	8,5	0,0	0,0	0,0	0,4	40,9	0,0
4	12,1	0,1	0,6	0,8	13,5	0,0	22,2	13,5	0,0	0,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,4	32,4	0,0
5	11,6	0,1	0,6	0,8	13,1	0,0	22,7	13,1	0,0	0,5	9,6	0,0	0,0	0,0	0,5	23,8	0,0
6	11,0	0,1	0,4	0,8	12,3	0,0	24,9	12,3	0,0	3,1	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	14,3	0,0
7	10,3	0,1	0,2	0,8	11,4	0,0	27,2	11,4	0,0	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0
8	9,1	5,3	0,1	0,8	15,3	0,0	28,9	15,3	0,0	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0
9	7,1	19,8	0,3	0,8	28,0	0,0	29,5	28,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0
10	5,7	29,3	1,9	0,8	37,6	0,0	29,8	37,6	0,0	0,3	0,0	7,7	2,3	5,5	0,3	4,3	0,0
11	5,4	34,5	2,2	0,8	42,9	0,0	30,2	42,9	0,0	0,1	0,0	12,7	2,3	10,0	0,5	9,7	0,0
12	5,5	37,6	2,2	0,8	46,0	0,0	30,5	43,2	0,0	0,0	0,0	15,5	2,3	10,0	0,5	19,7	2,8
13	5,5	39,0	2,1	0,8	47,4	0,0	30,5	43,3	0,0	0,0	0,0	16,9	2,3	10,0	0,5	29,7	4,1
14	5,6	39,1	2,2	0,8	47,6	0,0	29,3	42,1	0,0	0,0	0,0	18,3	2,3	10,0	0,5	39,7	5,6
15	6,1	38,4	2,2	0,8	47,4	0,0	28,2	41,0	0,0	0,0	0,0	19,2	2,3	10,0	0,5	49,7	6,5
16	6,7	37,3	2,2	0,8	46,9	0,0	28,0	40,7	0,0	0,0	0,0	18,9	2,3	10,0	0,5	59,7	6,2
17	6,6	35,2	2,2	0,8	44,7	0,0	27,9	40,7	0,0	0,0	0,0	16,8	2,3	10,0	0,5	69,7	4,0
18	5,9	30,9	2,0	0,8	39,6	0,0	27,5	39,6	0,0	0,5	0,0	12,1	2,3	9,9	0,5	79,7	0,0
19	5,3	23,1	2,0	0,8	31,2	0,0	27,5	31,2	0,0	0,1	0,0	3,7	2,3	1,5	0,1	89,6	0,0
20	4,8	9,9	1,8	0,8	17,3	0,0	28,0	17,3	0,0	1,2	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	91,1	0,0
21	4,3	0,8	1,0	0,8	6,9	0,0	29,1	6,9	0,0	12,7	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	81,1	0,0
22	4,8	0,0	0,7	0,8	6,2	0,0	27,9	6,2	0,0	12,2	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	71,1	0,0
23	5,4	0,0	0,7	0,8	6,8	0,0	25,2	6,8	0,0	8,9	10,0	0,0	0,0	0,0	0,5	61,1	0,0
Consumos Diarios (GWh/día)	186,3	381,1	29,6	18,6	615,6	0,0	646,9	586,5	0,0	73,7	105,8	142,0	22,6	86,9	9,6	51,0	29,1
Maximos Diarios (GWh)	12,2	39,1	2,2	0,8	47,6	0,0	30,5	43,3	0,0	15,9	10,0	19,2	2,3	10,0	0,5	91,1	6,5

Elaboración propia a partir de: Demanda de energía eléctrica en la península ibérica^[20].

(1) Incluye: Eólica; solar fotovoltaica; solar termoelectrica; Residuos sólidos y Otras renovables: biogás; biomasa; hidráulica marina y geotérmica.

(2) Diferencia entre la energía renovable que se puede generar (CGEER), y demanda E. eléctrica de la Red Eléctrica de Distribución (RED).

(3) Consumo de E. eléctrica con las centrales de B. mixto para almacenar energía hidráulica en forma E. potencial en los embalses.

(4) Tiene en cuentas las perdidas en el bombeo (subir agua del depósito inferior al depósito superior), y en la generación.

(5) Diferencia entre la capacidad de generación de E. eléctrica con E. renovable (CGEER), y el aporte de E. renovable.

1.9.1.4.5 E. Eléctrica almacenada en el SACD

En la Figura 32 se muestra la evolución de la energía eléctrica almacenada en el SACD. Este sistema desempeña un papel importante en el equilibrio entre la generación y la demanda de energía eléctrica a lo largo del día. Se puede observar cómo se ha ido acumulando y liberando energía, dando información sobre su capacidad de almacenamiento y su capacidad de respuesta para satisfacer la demanda energética en diferentes momentos del día.

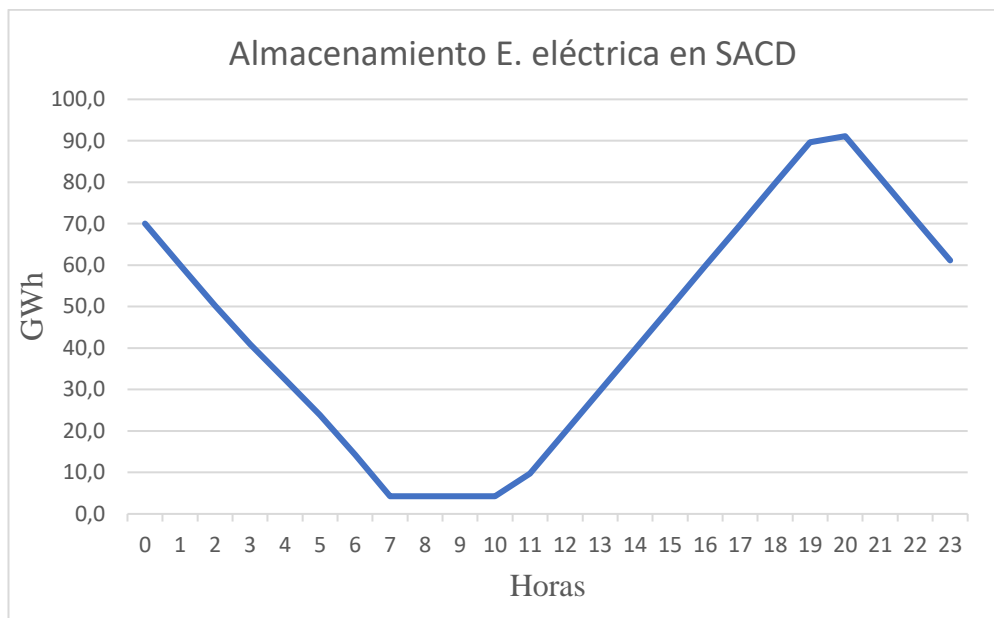


Figura 32. Evolución de la E. Eléctrica almacenada en el SACD.

A partir de los datos proporcionados, se puede observar que el almacenamiento de energía en el SACD comienza con 70.1 GWh a la medianoche y disminuye gradualmente hasta alcanzar su nivel más bajo de 4.3 GWh en las horas 7, 8, 9 y 10. Luego, el almacenamiento vuelve a aumentar y alcanza su punto máximo de 91.1 GWh a las 20 horas. Finalmente, disminuye hasta llegar a 61.1 GWh a las 23 horas. Este gráfico refleja la variación en el almacenamiento de energía eléctrica a lo largo del día, lo cual es relevante para comprender la disponibilidad y capacidad de respuesta del sistema de acumulación de energía en momentos de alta o baja demanda de electricidad.

1.9.1.4.6 Demanda de E. Eléctrica y aporte con las distintas fuentes

La siguiente tabla presenta los aportes y consumos de energía eléctrica en GWh por día. En ella se muestra la contribución de fuentes renovables y nucleares, así como los consumos correspondientes a la demanda de energía y los diferentes procesos de bombeo. Esta información permite visualizar de manera resumida cómo se distribuye y utiliza la energía eléctrica.

Tabla 11. Aportes y consumos de energía (GWh/día).

Aportes de energía (GWh/día)	
Nuclear	0,0
Renovable	586,5
Bombeo Puro	105,8
Hi + Ges	73,7
Total	765,9

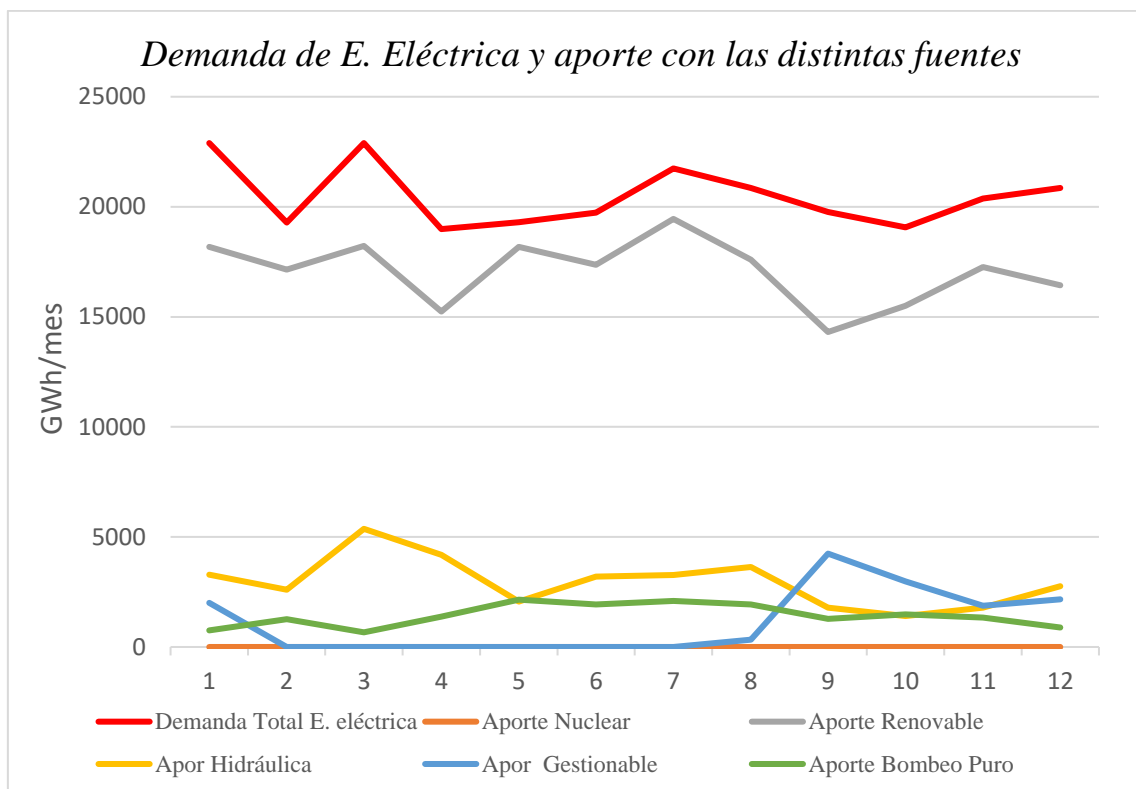
Consumos de energía (GWh/día)	
Demanda RE	646,9
Bombeo Mixto	22,6
Bombeo Puro	86,9
Perdidas Bombeo Puro	9,6
Total	765,9

La Tabla 11 muestra la demanda de energía eléctrica del sistema eléctrico actual durante el año 2018, así como el aporte de energía eléctrica proveniente de diferentes fuentes. En la tabla 12 se detalla la demanda total de energía eléctrica en GWh por mes, así como el aporte nuclear, el aporte renovable, el aporte hidráulico, el aporte gestionable y el aporte por bombeo puro. A lo largo de los meses, se puede observar la variación en la demanda y la participación de cada fuente en el suministro de energía eléctrica.

Tabla 12. Demanda de E. eléctrica del sistema eléctrico actual (Año 2018), y aporte de E. eléctrica con las distintas fuentes. Potencias (GW): **EOL 55.5; SFV 55.5; Nuclear 0; B. Mix 2.26; B. Puro 10; Capacidad SACD 200 GWh.**

	Demanda de Energía Eléctrica y Aporte con las distintas fuentes (GWh/mes)											
	Ene	Febr	Mar	Abri.	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Octu	Novi	Dici
Demanda Total E. eléctrica	22895	19290	22895	18987	19297	19730	21743	20849	19765	19066	20374	20855
Aporte Nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aporte Renovable	18184	17144	18226	15238	18185	17368	19449	17595	14312	15499	17255	16436
Apor Hidráulica	3281	2599	5368	4188	2063	3197	3270	3629	1781	1407	1787	2756
Apor Gestionable	2000	0	0	0	0	0	0	331	4242	2975	1868	2165
Aporte Bombeo Puro	747	1261	666	1375	2150	1934	2091	1927	1277	1484	1329	889

En la siguiente Figura se muestra la evolución de la demanda de energía eléctrica y el aporte de energía eléctrica proveniente de diferentes fuentes. Esta representación gráfica permite visualizar la contribución de cada fuente en el suministro de energía eléctrica, evidenciando el creciente papel de las fuentes renovables en el mix energético y su capacidad para satisfacer la demanda eléctrica de manera sostenible y eficiente.



(*) *Está incluida la recuperada con bombeo mixto.*

Figura 33. Evolución de la demanda de E. eléctrica del sistema eléctrico actual (Año 2018), y aporte con las distintas fuentes. Potencias (GW): **EOL 55.5; SFV 55.5; Nuclear 0; B. Mix 2.26; B. Puro 10; Capacidad SACD 200 GWh.**

1.9.2 Determinación parámetros fundamentales opción A.1

1.9.2.1 Introducción opción A.1

La opción A.1 propone mantener en funcionamiento las CN actuales y reemplazar el resto de las energías fósiles utilizadas para la generación de energía eléctrica por energía eólica y solar fotovoltaica. Esta alternativa tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, esta opción también plantea preocupaciones en cuanto a las reservas limitadas de combustible nuclear y la gestión de residuos radiactivos. A continuación, se presentarán los resultados y las implicaciones de la opción A.1.

1.9.2.2 Determinación parámetros fundamentales

1.9.2.2.1 Determinación de la relación potencia óptima entre las plantas EOL y SFV

En la Tabla 13, se presenta la relación óptima entre las potencias de la energía EOL y la SFV, tal como se mencionó anteriormente. Seguidamente se muestra la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 13. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =7.1 GW).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	7,1	54431	38,4	83331	38,4	57261	2,3	10,0	200	13234	5,0	1535	1,0	30,2
1,5 EOL=SFV	7,1	54431	32,4	70202	48,5	72359	2,3	10,0	200	13425	5,0	3366	2,2	30,4
2 EOL=SFV	7,1	54431	28,4	61631	56,8	84699	2,3	10,0	200	13568	5,0	6980	4,4	30,5
EOL=1,5 SFV	7,1	54431	44,6	96678	29,7	44288	2,3	10,0	200	13041	5,0	2064	1,4	30,0
EOL=2 SFV	7,1	54431	48,8	105900	24,4	36385	2,3	10,0	200	12845	5,0	3320	2,2	29,9

Respecto con la relación óptima entre las potencias EOL y la SFV, se mantiene el mismo caso que en la opción A, pero con valores específicos de potencia EOL de 38.4 GW y potencia SFV de 38.4 GW.

En la Tabla 14 se muestran los parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda para opción A.1.

Tabla 14. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción A1. (Centrales Nucleares (7.1GW) en funcionamiento y Potencia EOL= Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
7,1	54431	38,4	83331	38,4	57261	2,3	10,0	200	13234	5,0	1535	1,0	30,2

1.9.2.2.2 E. Eléctrica almacenada en el SACD

El gráfico de la Figura 34 muestra el almacenamiento de energía eléctrica en el SACD a lo largo de las horas del día. Se observa cómo varía la cantidad de energía almacenada en el SACD durante el transcurso de las 24 horas.

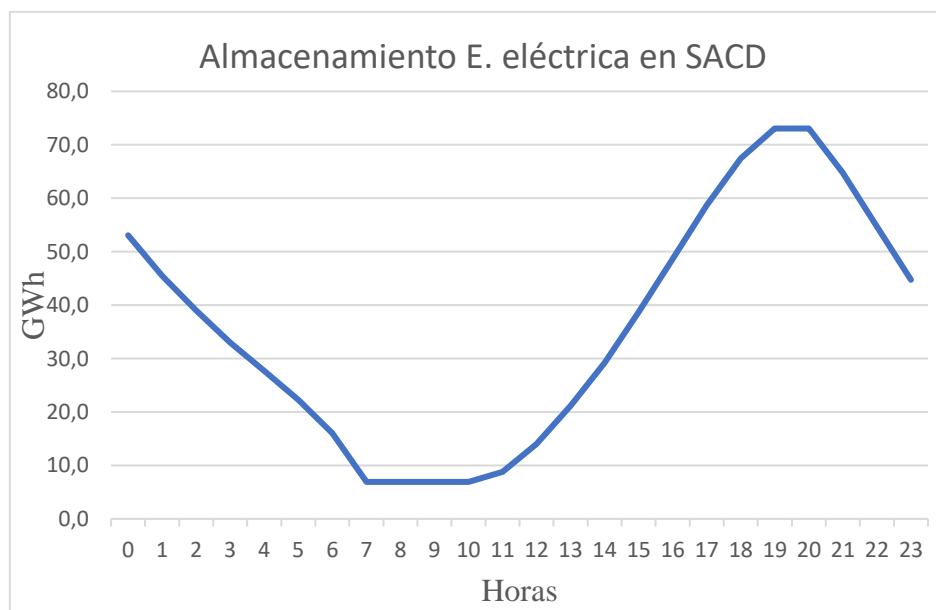


Figura 34. Evolución de la E. Eléctrica almacenada, en el sistema de almacenamiento de ciclo diario (SACD).

A partir de los datos proporcionados, se puede observar que el almacenamiento de energía en el SACD comienza con 53.1 GWh, después disminuye gradualmente hasta alcanzar su nivel más bajo de 6.9 GWh en las horas 7, 8, 9 y 10. Luego, el almacenamiento vuelve a aumentar y alcanza su punto máximo de 73.1 GWh a las 19 horas. A partir de esa hora, el almacenamiento se mantiene constante en 73.1 GWh hasta las 21, cuando disminuye a 64.8 GWh. Finalmente, continúa disminuyendo y alcanza 44.8 GWh a las 23 horas.

1.9.2.2.3 Demanda de E. Eléctrica y aporte con las distintas fuentes

La siguiente tabla presenta los aportes y consumos de energía eléctrica en GWh por día.

Tabla 15. Aportes y consumos de energía (GWh/día).

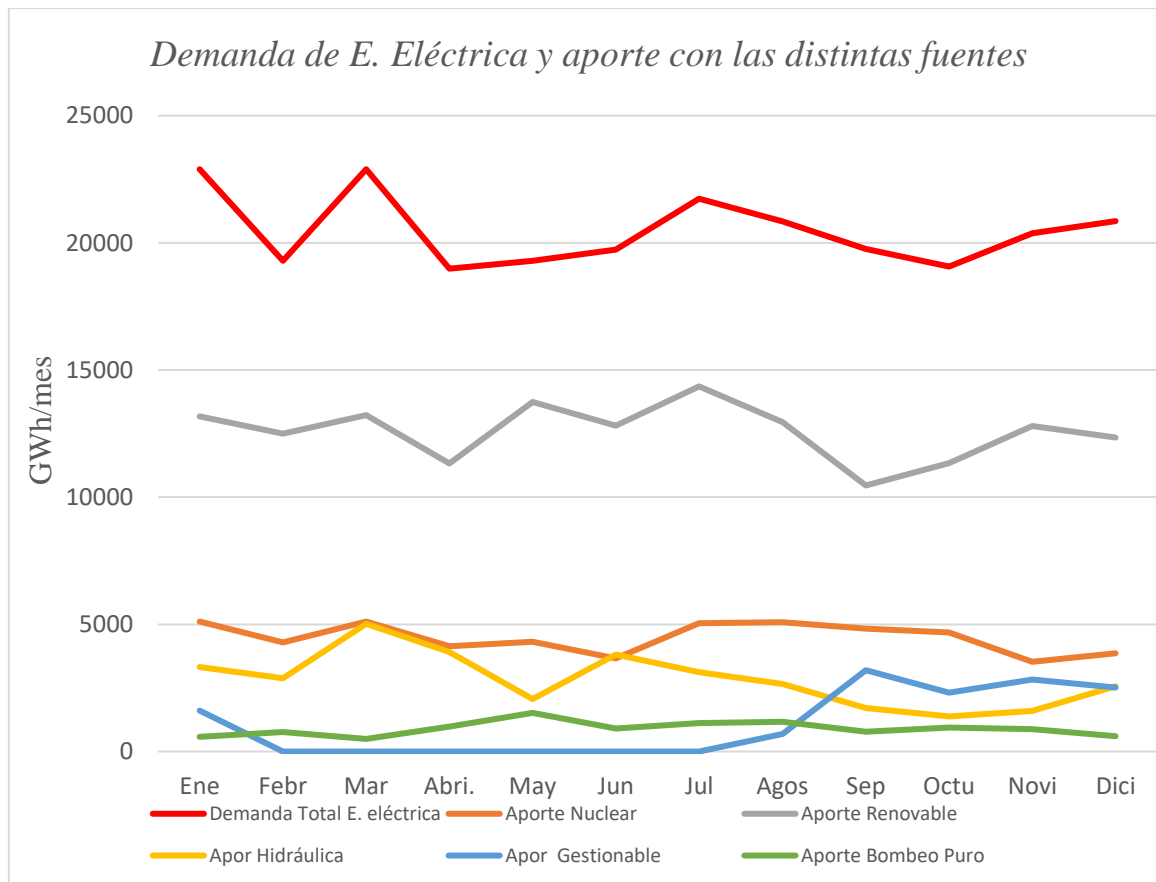
Aportes de energía (GWh/día)	
Nuclear	166,3
Renovable	443,3
Bombeo Puro	84,5
Hi + Ges	48,9
Total	576,6
Consumos de energía (GWh/día)	
Demanda RE	646,9
Bombeo Mixto	22,4
Bombeo Puro	66,1
Perdidas Bombeo Puro	7,5
Total	742,9

La Tabla 16 muestra la demanda de energía eléctrica del sistema eléctrico actual durante el año 2018, así como el aporte de energía eléctrica proveniente de diferentes fuentes.

Tabla 16. Demanda de E. eléctrica del sistema eléctrico actual (Año 2018), y aporte de E. eléctrica con las distintas fuentes. Potencias (GW): **EOL 38.65; SFV 38.65; Nuclear 7;** B. Mix 2.26; B. Puro 10; Capacidad SACD 200 GWh (Año 2018).

	Demanda de Energía Eléctrica y Aporte con las distintas fuentes (GWh/mes)											
	Ene	Febr	Mar	Abri.	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Octu	Novi	Dici
Demanda Total E. eléctrica	22895	19290	22895	18987	19297	19730	21743	20849	19765	19066	20374	20855
Aporte Nuclear	5111	4286	5111	4137	4321	3659	5051	5085	4831	4676	3529	3869
Aporte Renovable	13183	12496	13232	11327	13744	12810	14357	12957	10461	11344	12801	12343
Apor Hidráulica	3322	2876	5022	3917	2062	3814	3120	2659	1714	1380	1604	2564
Apor Gestionable	1605	0	0	0	0	0	0	694	3198	2315	2825	2514
Aporte Bombeo Puro	583	765	496	984	1520	904	1115	1175	779	948	875	601

En la Figura 35 se muestra la evolución de la demanda total de energía eléctrica del sistema eléctrico actual junto con el aporte proporcionado por las diferentes fuentes de energía.



(*) Está incluida la recuperada con bombeo mixto.

Figura 35. Evolución de la demanda de E. eléctrica del sistema eléctrico actual (Año 2018), y aporte con las distintas fuentes. Potencias (GW): **EOL 38.65; SFV 38.65; Nuclear 7; B. Mix 2.26; B. Puro 10; Capacidad SACD 200 GWh.**

En la Figura 35, se aprecia que las energías renovables disminuyen, ya que una parte de la energía demandada es cubierta por la generación nuclear. En cambio, en la Figura 33 las energías renovables se encuentran en niveles más altos, ya que en este caso las CN están paradas.

1.9.2.3 Comparación entre opción A y A.1

Al comparar los valores de la Tabla 9 (P. CN = 0) y la Tabla 14 (P. CN = 7.1 GW), podemos observar que la incorporación de CN favorece la adaptación de la generación de energía eléctrica a la demanda. Esto se refleja en una reducción del 3.4% de la energía renovable no aprovechada y una reducción de 6.5 GW en la potencia de las Centrales (Hi + Ges). Sin embargo, es importante destacar que las CN no son indispensables para lograr dicha adaptación.

La decisión de incluir CN como parte de la estrategia para reducir el consumo de energía fósil y las emisiones de gases de efecto invernadero dependerá de varios factores. Uno de ellos es si el costo por kilovatio-hora generado con las nuevas CN es similar o inferior al generado por plantas eólicas y solares fotovoltaicas (SFV). Además, se debe considerar la disponibilidad de reservas probadas de uranio, ya que es el combustible utilizado en las CN.

1.9.3 Determinación parámetros fundamentales opción B

1.9.3.1 Introducción opción B

La segunda opción plantea añadir a la opción A la posibilidad de sustituir la energía utilizada en hogares, comercios, servicios y administración pública por una generación de calor a partir de la tecnología de la aerotermia. La aerotermia es una tecnología renovable y limpia que permite obtener calor del aire exterior para calentar espacios interiores o para el agua sanitaria. Es importante destacar que la tecnología de aerotermia es adecuada para suministrar energía térmica a temperaturas inferiores a 40 grados y utiliza la energía del aire exterior para expulsar el calor de una sala cuando se desea refrigerar el ambiente.

En la práctica, la implementación de esta opción requeriría la instalación de sistemas de climatización y producción de ACS que utilicen la tecnología de la aerotermia en hogares, comercios, servicios y administración pública. La ventaja de esta tecnología es que puede ser aplicada tanto en edificios de nueva construcción como en edificios existentes. A continuación, se muestra un esquema de una instalación de un sistema de aerotermia:

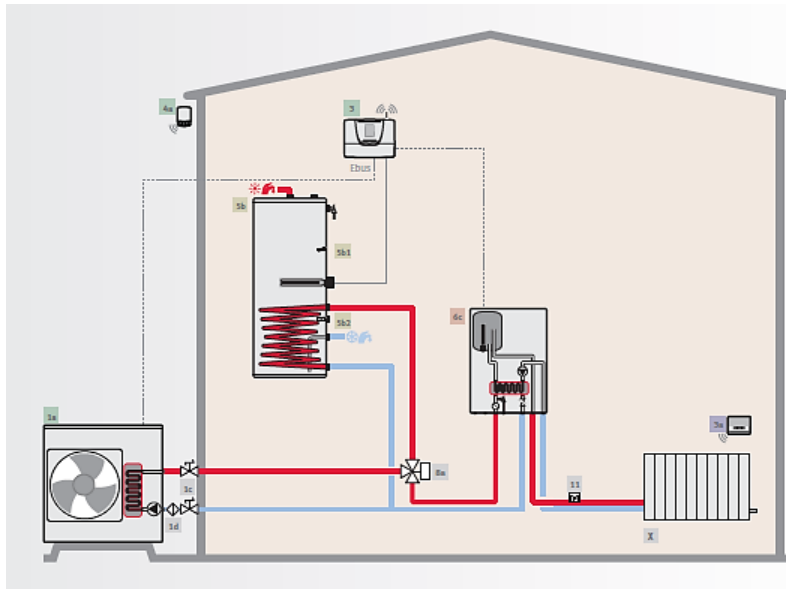


Figura 36. Esquema de instalación de un sistema de aerotermia^[21].

A partir de los datos obtenidos en el IDAE^[22], es posible realizar un cálculo aproximado de la energía que se consumiría al implementar sistemas de aerotermia. En el anexo 3.2.1.1, se presenta una tabla que contiene los valores utilizados en los cálculos del consumo de la energía final. Los resultados se ven representados en las siguientes tablas:

Tabla 17. Balance del consumo de energía final fósil en España en el año 2018.

Tipo de fuente	Sector	
	Residencial	Comercio, Servicios y Admin. Públicas
Carbón (ktep/año)	68	0
Productos petrolíferos (ktep/año)	2793	1350
Gas natural (ktep/año)	2740	2831
Consumo de energía fósil final	ktep/año	4181
	GWh/año	48625
Total / año	9782 ktep / 113765 GWh	
Consumo energía eléctrica (GWh/año)	28441 GWh	

Suponiendo un rendimiento estacional (SCOP) de las bombas de aerotermia es del 400%, da un resultado del consumo de energía fósil final de 28441 GWh. Comparando los datos actuales de consumo de energía fósil, que ascienden a 113765 GWh, se evidencia una significativa diferencia en los resultados. Estos números resaltan la ventaja de implementar la aerotermia como opción, ya que representa una reducción considerable en el consumo de energía fósil. El cálculo realizado se muestra en el apartado siguiente.

1.9.3.2 Cálculo E. eléctrico necesario

A continuación, se muestra la fórmula utilizada para calcular el consumo de energía eléctrica, dicha fórmula está explicada en el anexo 3.2.1.2, siendo la fórmula A.2.2.

$$\frac{E.fósil (GWh/año)}{SCOP} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (1)$$

A partir de la energía fósil y el SCOP, se puede determinar el consumo de energía eléctrica para la opción B. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos:

Tabla 18. Consumo de energía eléctrica en la opción B.

Consumo de energía eléctrica	Valor
Demanda de REE (GWh/año)	245748
Para ACS y Calefacción (GWh/año)	28444
Para ACS (GWh/año)	7111
Para Calefacción (GWh/año)	21333
Demanda Total de E. Eléctrica (GWh/año)	274192

1.9.3.3 Perfil horario de la demanda de calefacción y ACS

La información referente a los consumos horarios de calefacción y ACS se encuentra en el Anexo 3.1.3.

1.9.3.4 Determinación parámetros fundamentales

A continuación, se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción B. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 19. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =0).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	0,0	0	64,8	140622	64,8	96628	2,3	10,0	200	15067	5,0	16476	6,6	48,5
1,5 EOL=SFV	0,0	0	57,1	123912	85,7	127719	2,3	10,0	200	15337	5,0	30653	11,7	48,8
2 EOL=SFV	0,0	0	52,6	114147	105,2	156872	2,3	10,0	200	15512	5,0	49868	17,7	48,9
EOL=1,5 SFV	0,0	0	73,8	160153	49,2	73366	2,3	10,0	200	14713	5,0	12890	5,3	48,3
EOL=2 SFV	0,0	0	80,4	174475	40,2	59945	2,3	10,0	200	14567	5,0	13915	5,7	48,1

En este caso, se puede observar que la relación óptima entre la potencia de EOL y de SFV se alcanza cuando EOL es 1.5 veces superior a la potencia SFV. Los valores de estas potencias son para la potencia EOL de 73.8 GW y para la SFV de 49.2 GW. Esta conclusión se basa en que con esta configuración obtiene el valor más bajo de energía renovable no aprovechada.

En la Tabla 20 se muestran los parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda para la opción B.

Tabla 20. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción B. (Centrales Nucleares paradas y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0,0	0	73,8	160153	49,2	73366	2,3	10,0	200	14713	5,0	12890	5,3	48,3

1.9.4 Determinación parámetros fundamentales opción B.1

1.9.4.1 Introducción opción B.1

El punto B.1 propone sustituir las energías fósiles utilizadas en la opción B para generar energía eléctrica por EOL y SFV, manteniendo en funcionamiento las CN existentes.

1.9.4.2 Determinación parámetros fundamentales

En la Tabla 21 se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción B.1. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 21. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =7.1 GW).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	7,1	54431	46,8	101560	46,8	69787	2,3	10,0	200	14809	5,0	5220	2,9	42,1
1,5 EOL=SFV	7,1	54431	40,3	87455	60,5	90142	2,3	10,0	200	15147	5,0	11399	6,0	42,3
2 EOL=SFV	7,1	54431	36,2	78557	72,4	107961	2,3	10,0	200	15194	5,0	20088	10,2	42,4
EOL=1,5 SFV	7,1	54431	53,7	116534	35,8	53384	2,3	10,0	200	14511	5,0	3977	2,2	41,9
EOL=2 SFV	7,1	54431	58,6	127167	29,3	43691	2,3	10,0	200	14360	5,0	4968	2,7	41,8

Respecto con la relación óptima entre las potencias EOL y SFV, se mantiene el mismo caso que en la opción B, pero con valores específicos de potencia EOL de 53.7 GW y potencia SFV de 35.8 GW.

En la Tabla 22 se muestran los parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda por opción B-1.

Tabla 22. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción B1 (Centrales Nucleares (7.1GW) en funcionamiento y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
7,1	54431	53,7	116534	35,8	53384	2,3	10,0	200	14511	5,0	3977	2,2	41,9

1.9.4.2.1 Comparación entre opción B y B.1

Al comparar los valores de la Tabla 20 (P. CN = 0) y la Tabla 22 (P. CN = 7.1 GW), podemos observar que la incorporación de CN favorece la adaptación de la generación de energía eléctrica a la demanda. Esto se refleja en una reducción del 3.1% de la energía renovable no aprovechada y una reducción de 6.4 GW en la potencia de las Centrales (Hi + Ges). Es importante destacar que las CN no son indispensables para lograr dicha adaptación.

1.9.5 Determinación parámetros fundamentales opción C

1.9.5.1 Introducción opción C

En España, el sector del transporte es el principal consumidor de energía final y, según datos del año 2016, demandó 34.8 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), lo que representa el 42% del consumo energético final del país. Además, el transporte por carretera es responsable del 79% de este consumo, siendo los turismos los vehículos que demandan el 42% de la energía destinada al transporte, lo que equivale al 18% del consumo energético total de España. Es preocupante que la diversificación de fuentes de energía utilizadas por los vehículos sea muy limitada, ya que apenas un poco más del 5% de la energía consumida proviene de fuentes renovables^[2]. La información proporcionada por IDAE es del año 2016, ya que no se dispone de datos actualizados para el año 2018. En la Figura 37, se muestra la estructura sectorial del consumo de energía final en España para ver gráficamente la importancia que tiene el sector del transporte en este.

Estructura sectorial del consumo de energía final en España Año 2016

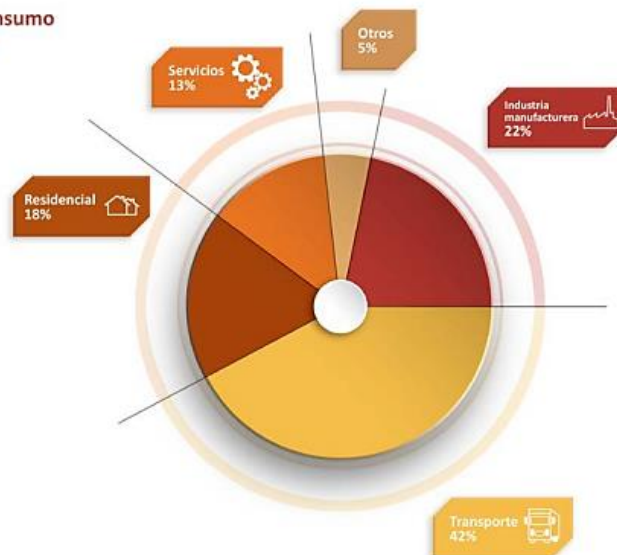


Figura 37. Estructura sectorial del consumo de energía final en España, año 2016^[2].

Seguidamente, en la Figura 38, se muestra la estructura del consumo energético del sector del transporte por modos y tipos de vehículos en España. Se puede apreciar la gran influencia que tiene el transporte por carretera.

Estructura del consumo energético del sector del transporte por modos y tipos de vehículos, año 2016

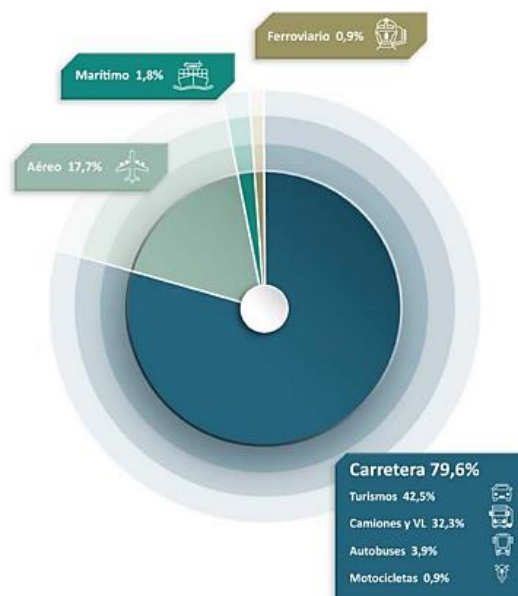


Figura 38. Estructura del consumo energético del sector del transporte por modos y tipos de vehículos en España, año 2016^[2].

En distancias cortas de menos de 10 kilómetros, el consumo de energía por pasajero es muy superior en un automóvil en comparación con el uso de un autobús o metro. No obstante, desplazarse a pie o en bicicleta no requiere ningún tipo de combustible, lo que lo convierte en una opción más sostenible desde el punto de vista energético y ambiental. Para ilustrar estas diferencias, se muestra una comparativa del consumo energético por modo de transporte.

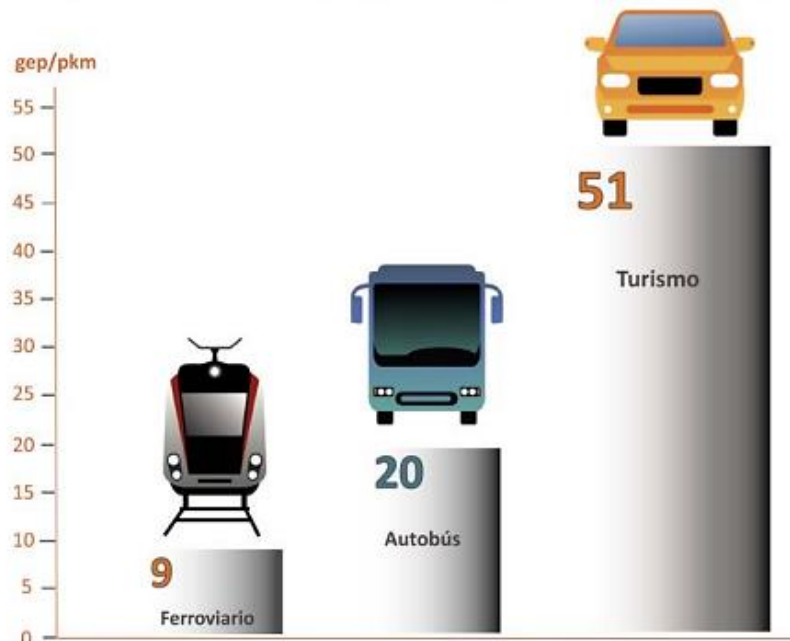


Figura 39. Consumo energético por pasajero-kilómetro en España según modo, año 2016.

A partir de los datos recopilados^[22], se puede calcular el consumo anual de energía eléctrica. Para realizar los cálculos de la opción propuesta, se ha considerado que todos los vehículos utilizados son eléctricos con batería para los coches. Los resultados más relevantes se presentan a continuación en las tablas correspondientes.

Tabla 23. Balance del consumo de energía final fósil en España en el año 2018.

	Carbón (ktep/año)	Productos petrolíferos (ktep/año)	Gas natural (ktep/año)	Consumo de E. fósil final			Consumo energía eléctrica (GWh/año)
				ktep/año	GWh/año	% del consumo de la E. fósil final	
Transporte		35071	203	35274	410242	58.7	102560
Carretera		26900	150	27051	314600	45.0	78650
Turismos (42.5%)				14443	167971	24.0	41993
Camiones (32.3%)				10977	127658	18.3	31914
Autobuses (3.9%)				1325	15414	2.2	3853

Tabla 24. Eficiencias de transmisión de los diferentes vehículos ^[3].

Eficiencias de transmisión (%)	
Tank to Wheel Efficiency (Coche MCI)	0.18
Tank to Wheel Efficiency (EV)	0.77

Para calcular la energía requerida para impulsar un vehículo eléctrico, es necesario tomar en cuenta la energía actualmente utilizada por un vehículo de combustión interna. Esta energía, conocida como "energía aplicada a la rueda", se mide en la rueda trasera del vehículo.

En el anexo 3.2.1.1, se presenta una tabla que contiene los valores utilizados en los cálculos de la energía final. Estos valores son importantes para tener una comprensión más general de las magnitudes que se están manejando en los cálculos y de la comparativa entre ellos. El cálculo realizado se muestra en el apartado 1.9.5.3.

Tabla 25. Comparativa entre el consumo de E. fósil final y el consumo de E. eléctrica para cargar baterías.

	Sustitución de la E. fósil final, a través de aplicaciones directas de E. eléctrica (GWh/año)	Consumo de E. eléctrica para cargar baterías (GWh/año)	Diferencia (GWh)
Turismos	167971	50833	117138

1.9.5.2 Comparación del rendimiento energético de los coches eléctricos con baterías y los coches / camiones con pila de H₂

En este texto se abordará la comparación del rendimiento energético entre los coches eléctricos con baterías y los coches/camiones con pila de hidrógeno. Para ello, se explorarán las ventajas y desventajas de cada tecnología en términos de sostenibilidad, autonomía y coste. Por último, se analizarán las perspectivas de futuro de ambas opciones y su posible contribución a la transición hacia una movilidad más sostenible.

- **Eficiencia energética:** Los coches eléctricos con baterías son más eficientes energéticamente que los coches/camiones con pila de hidrógeno. La generación, transporte y uso de energía eléctrica en los vehículos eléctricos resulta en menores pérdidas de energía en comparación con la tecnología de pila de hidrógeno. Esto se traduce en un mejor aprovechamiento de la energía y una mayor eficiencia en el rendimiento de los vehículos eléctricos^[3].
- **Infraestructura de carga:** Actualmente, la infraestructura de carga de coches eléctricos con baterías es más accesible y desarrollada que la infraestructura de carga de coches/camiones con pila de hidrógeno. Esto hace que los coches eléctricos con baterías sean más convenientes para viajes largos y para aquellos que no tienen acceso a una estación de carga de hidrógeno cercana.
- **Costos:** En la actualidad, los coches/camiones con pila de hidrógeno son más caros que los coches eléctricos con baterías. Además, la producción de hidrógeno es un proceso costoso, lo que hace que el combustible de hidrógeno también sea más caro que la electricidad.
- **Impacto ambiental:** Tanto los coches eléctricos con baterías como los coches/camiones con pila de hidrógeno son vehículos de "cero emisiones".

1.9.5.3 Cálculo E. eléctrico necesario para cargar las baterías

A continuación, se muestra la fórmula utilizada para calcular el consumo de energía eléctrica, dicha fórmula esta explicada en el anexo 3.2.1.2, siendo la fórmula A.2.1.

$$E. fósil \left(\frac{GWh}{año} \right) * \frac{TWE(MCI)}{TWE(VE)*Re.cb} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (2)$$

A partir de la energía fósil, la eficiencia del tanque a la rueda del vehículo y el rendimiento del cargador de baterías, se puede determinar el consumo de energía eléctrica para la opción C. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos:

Tabla 26. Consumo de energía eléctrica en la opción C.

Consumo de energía eléctrica	Valor
Demanda de REE (GWh/año)	245748
Para ACS y Calefacción (GWh/año)	28444
Para ACS (GWh/año)	7111
Para Calefacción (GWh/año)	21333
Para cargar baterías (GWh/año)	48453
Demanda Total de E. Eléctrica (GWh/año)	322645

1.9.5.4 Perfil horario de carga de las baterías

La información referente a los consumos horarios de carga de las baterías se encuentra en el Anexo 3.1.4.

1.9.5.5 Determinación parámetros fundamentales

A continuación, se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción C. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 27. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =0).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	0,0	0	80,0	173607	80,0	119294	2,3	10,0	200	17649	5,0	26016	8,6	56,3
1,5 EOL=SFV	0,0	0	67,4	146264	120,0	178941	2,3	10,0	200	17914	5,0	57995	17,2	56,6
2 EOL=SFV	0,0	0	65,2	141490	130,4	194449	2,3	10,0	200	18121	5,0	68843	19,8	55,2
EOL=1,5 SFV	0,0	0	91,1	197587	60,7	90514	2,3	10,0	200	17582	5,0	21650	7,2	55,9
EOL=2 SFV	0,0	0	99,6	216141	49,8	74261	2,3	10,0	200	17389	5,0	24006	8,0	55,6

En este caso, se puede observar que la relación óptima entre EOL y SFV se alcanza cuando la potencia EOL es 1.5 veces superior a la potencia SFV. Los valores de estas potencias son para la potencia EOL de 91.1 GW y para la SFV de 60.7 GW. Esta conclusión se basa en que con esta configuración obtiene el valor más bajo de energía renovable no aprovechada.

Tabla 28. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción C. (Centrales Nucleares paradas y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0,0	0	91,1	197587	60,7	90514	2,3	10,0	200	17582	5,0	21650	7,2	55,9

1.9.6 Determinación parámetros fundamentales opción C.1

1.9.6.1 Introducción opción C.1

En la opción C.1, se plantea reemplazar las energías fósiles empleadas en la generación de energía eléctrica de la opción C con fuentes renovables como la energía EOL y SFV. A su vez, se propone mantener en operación las CN actuales.

1.9.6.2 Determinación parámetros fundamentales

En la tabla 29 se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción C.1. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 29. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =7.1 GW).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/ año	% [1]	GWh/ año	% [2]	GW
EOL=SFV	7,1	54431	60,7	131724	60,7	90514	2,3	10,0	200	17421	5,0	9951	4,3	49,9
1,5 EOL=SFV	7,1	54431	52,5	113930	78,8	117430	2,3	10,0	200	17753	5,0	18970	7,8	50,1
2 EOL=SFV	7,1	54431	47,5	103079	95,0	141662	2,3	10,0	200	17951	5,0	32293	12,6	50,3
EOL=1,5 SFV	7,1	54431	70,1	152015	46,7	69638	2,3	10,0	200	17186	5,0	9535	4,1	49,6
EOL=2 SFV	7,1	54431	76,6	166229	38,3	57112	2,3	10,0	200	17181	5,0	11392	4,9	49,4

Respecto la relación óptima entre las potencias EOL y SFV, se mantiene el mismo caso que en la opción C, pero con valores específicos de potencia EOL de 70.1 GW y potencia SFV de 46.7 GW.

Tabla 30. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción C1. (Centrales Nucleares (7.1GW) en funcionamiento y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/ año	% [1]	GWh/ año	% [2]	GW
7,1	54431	70,1	152015	46,7	69638	2,3	10,0	200	17186	5,0	9535	4,1	49,6

1.9.6.3 Comparación entre opción C y C.1

Al comparar los valores de la Tabla 28 (P. CN = 0) y la Tabla 30 (P. CN = 7.1 GW), podemos observar que la incorporación de CN favorece la adaptación de la generación de energía eléctrica a la demanda. Esto se refleja en una reducción del 3.1% de la energía renovable no aprovechada y una reducción de 6.3 GW en la potencia de las Centrales (Hi + Ges). Es importante destacar que las CN no son indispensables para lograr dicha adaptación.

1.9.7 Determinación parámetros fundamentales opción D

1.9.7.1 Introducción opción D

La opción D propone añadir a la opción C, la sustitución del uso de combustibles fósiles en camiones, vehículos ligeros y autobuses con MCI, por hidrógeno. Esta opción ha sido considerada especialmente para vehículos grandes, ya que en estos casos las baterías necesarias para propulsión eléctrica serían muy grandes y pesadas. El hidrógeno se presenta como una alternativa atractiva ya que su combustión no emite CO₂, y la eficiencia de la pila de combustible es mayor en comparación con un MCI. A continuación, se presentan los cálculos correspondientes para evaluar el consumo energético y las emisiones de CO₂ de esta opción en comparación con la situación actual.

Tabla 31. Balance del consumo de energía final fósil en España en el año 2018.

	Carbón (ktep/año)	Productos petrolíferos (ktep/año)	Gas natural (ktep/año)	Consumo de E. fósil final			Consumo energía eléctrica (GWh/año)
				ktep/año	GWh/año	% del consumo de la E. fósil final	
Transporte		35071	203	35274	410242	58.7	102560
Carretera		26900	150	27051	314600	45.0	78650
Turismos (42.5%)				14443	167971	24.0	41993
Camiones (32.3%)				10977	127658	18.3	31914
Autobuses (3.9%)				1325	15414	2.2	3853

Tabla 32. Eficiencias de transmisión de los diferentes vehículos^[3].

Eficiencias de transmisión (%)	
Tank to Wheel Efficiency (Coche MCI)	0.18
Tank to Wheel Efficiency (Camiones con pilas de combustible de hidrogeno)	0.3-0.45

En el anexo 3.2.1.1, se presenta una tabla que contiene los valores utilizados en los cálculos de la energía final. En el caso del hidrógeno, se ha llevado a cabo el cálculo de la energía eléctrica necesaria para producir la cantidad requerida de hidrógeno. Además, se ha tenido en cuenta la energía eléctrica necesaria para comprimir y refrigerar el hidrógeno. El cálculo realizado se muestra en el apartado siguiente.

Tabla 33. Comparativa entre el consumo de E. fósil final y consumo total de E. eléctrica para generar; comprimir; refrigerar H₂.

	Sustitución de la E. fósil final a través del Vector H ₂ (GWh/año)	Consumo Total de E. eléctrica para: Generar; Comprimir; Refrigerar H ₂ (GWh/año)	Diferencia (GWh)
Camiones, VL y autobuses	143072	126879	16193

1.9.7.2 Cálculo de la E. eléctrica para generar y comprimir el H₂

A continuación, se muestra las fórmulas utilizadas para calcular el consumo de energía eléctrica, dichas fórmulas esta explicada en el anexo 3.2.1.2.

Hidrógeno necesario para sustituir la energía fósil en vehículos de transporte con pilas de combustible de hidrógeno (P.H₂):

$$E. fósil (GWh/año) * \frac{TWE (MCI)}{TWE(P.H_2)} = (GWh/año) de H_2 \quad (3)$$

Cantidad de hidrógeno en kilogramos necesaria para sustituir la energía fósil en vehículos de transporte:

$$(GWh) de H_2 * \frac{1000000}{33.33} = (Kg/año) de H_2 \quad (4)$$

Energía eléctrica necesaria para generar hidrógeno:

$$\frac{(GWh/año) de H_2}{Re.Elec.} = (GWh/año) de E. Eléctrica \quad (5)$$

Energía eléctrica necesaria para comprimir hidrógeno:

$$\left(\frac{kg}{año}\right) de H_2 * \frac{\left(\frac{kWh}{año}\right) de E. E.para comprimir 1 Kg de H_2}{1000000} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (6)$$

Energía eléctrica necesaria para refrigerar hidrógeno:

$$(kg) de H_2 * \frac{(kWh.de E.E.para refrigerar 1 Kg de H_2)}{1000000} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (7)$$

A partir de las fórmulas anteriores, se puede determinar el consumo de energía eléctrica para la opción D. Para el programa de cálculo solo se ha tenido en cuenta la generación de hidrogeno. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos:

Tabla 34. Consumo de energía eléctrica en la opción D.

Consumo de energía eléctrica	Valor
Demanda de REE (GWh/año)	245748
Para ACS y Calefacción (GWh/año)	28444
Para ACS (GWh/año)	7111
Para Calefacción (GWh/año)	21333
Para cargar baterías (GWh/año)	48453
Para Generar H ₂ para Camiones y VL (GWh/año)	87167
Para Generar H ₂ para Autobuses (GWh/año)	10331
Demanda Total de E. Eléctrica (GWh/año)	420142

1.9.7.3 Perfil horario de la E. eléctrica para generar H₂

La información referente a los consumos horarios de la E. eléctrica para generar H₂ se encuentra en el Anexo 3.1.5.

1.9.7.4 Determinación parámetros fundamentales

A continuación, se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción D. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 35. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =0).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
EOL=SFV	0,0	0	115,0	249560	115,0	171485	2,3	10,0	200	22711	5,0	61268	14,2	71,6
1,5 EOL=SFV	0,0	0	102,8	223085	154,2	229939	2,3	10,0	200	22908	5,0	93101	20,1	72,0
2 EOL=SFV	0,0	0	95,5	207244	191,0	284814	2,3	10,0	200	23269	5,0	132305	26,3	64,4
EOL=1,5 SFV	0,0	0	130,5	283197	87,0	129732	2,3	10,0	200	22578	5,0	53401	12,6	71,2
EOL=2 SFV	0,0	0	143,0	310323	71,5	106619	2,3	10,0	200	22569	5,0	57593	13,5	70,8

En este caso, se puede observar que la relación óptima entre la energía EOL y la energía SFV se alcanza cuando la potencia EOL es 1.5 veces superior a la potencia SFV. Los valores de estas potencias son para la potencia EOL de 130.5 GW y para la SFV de 87.0 GW. Esta conclusión se basa en que con esta configuración obtiene el valor más bajo de energía renovable no aprovechada.

Tabla 36. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción D. (Centrales Nucleares paradas y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
0,0	0	130,5	283197	87,0	129732	2,3	10,0	200	22578	5,0	53401	12,6	71,2

1.9.8 Determinación parámetros fundamentales opción D.1

1.9.8.1 Introducción opción D.1

La opción D.1 propone una alternativa para sustituir las energías fósiles del punto D utilizadas en la generación de energía eléctrica, manteniendo las CN actuales en servicio.

1.9.8.2 Determinación parámetros fundamentales

En la Tabla 37 se muestra la evolución de la energía renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y la potencia SFV, para la opción D.1. Seguidamente, se presenta la tabla con los resultados correspondientes:

Tabla 37. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función de la relación entre la potencia EOL y SFV. (P. Nuclear =7.1 GW).

	C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/ año	% [1]	GWh/ año	% [2]	GW
EOL=SFV	7,1	54431	93,8	203554	93,8	139872	2,3	10,0	200	22501	5,0	37990	10,7	65,3
1,5 EOL=SFV	7,1	54431	82,0	177947	123,0	183415	2,3	10,0	200	23026	5,0	56173	15,1	65,7
2 EOL=SFV	7,1	54431	75,2	163191	150,4	224273	2,3	10,0	200	23053	5,0	82119	20,6	64,2
EOL=1,5 SFV	7,1	54431	107,6	233393	71,7	106917	2,3	10,0	200	22428	5,0	35107	10,0	64,9
EOL=2 SFV	7,1	54431	118,4	256939	59,2	88278	2,3	10,0	200	22292	5,0	40019	11,2	64,6

Respecto con la relación óptima entre las potencias EOL y SFV, se mantiene el mismo caso que en la opción D, pero con valores específicos de potencia EOL de 107.6 GW y potencia SFV de 71.7 GW.

Tabla 38. Parámetros fundamentales del sistema propuesto para adaptar la generación a la demanda en la opción D1. (Centrales Nucleares (7.1GW) en funcionamiento y Potencia EOL= 1.5*Potencia SFV).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/ año	% [1]	GWh/ año	% [2]	GW
7,1	54431	107,6	233393	71,7	106917	2,3	10,0	200	22428	5,0	35107	10,0	64,9

1.9.8.3 Comparación entre opción D y D.1

Al comparar los valores de la Tabla 36 (P. CN = 0) y la Tabla 38 (P. CN = 7.1 GW), podemos observar que la incorporación de CN favorece la adaptación de la generación de energía eléctrica a la demanda. Esto se refleja en una reducción del 2.6% de la energía renovable no aprovechada y una reducción de 6.3 GW en la potencia de las Centrales (Hi + Ges). Es importante destacar que las CN no son indispensables para lograr dicha adaptación.

1.9.8.4 Análisis aumento Almacenamiento Ciclo Diario

El siguiente apartado presenta las Tablas 39 y 40. Estas tablas permiten analizar el aumento de la capacidad de almacenamiento diario en la utilización de la energía renovable.

Tabla 39. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función del Almacenamiento de Ciclo Diario. (P. Nuclear =0 GW).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P. (GW)	GWh/ año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/ año	% [1]	GWh/ año	% [2]	GW
0,0	0	130,5	283197	87,0	129732	2,3	10,0	200	22578	5,0	53401	12,6	71,2
0,0	0	129,3	280593	86,2	128539	2,3	12,0	200	22466	5,0	49318	11,7	71,2
0,0	0	128,0	277663	85,3	127197	2,3	15,0	200	22641	5,0	45023	10,8	71,3
0,0	0	127,2	276035	84,8	126452	2,3	18,0	200	22725	5,0	42636	10,3	71,3
0,0	0	126,9	275384	84,6	126153	2,3	20,0	200	22860	5,0	41767	10,1	71,3

Según muestra la Tabla 39 se puede apreciar que al aumentar la capacidad del SACD en 10 GWh, llegando hasta los 20 GWh, ha reducido la E. Renovable no aprovechada aproximadamente un 2.5%.

Tabla 40. Evolución de la E. renovable no aprovechada en función del Almacenamiento de Ciclo Diario. (P. Nuclear =7.1 GW).

C. Nucleares		Eólica		Solar Fotovoltaica		C.B. Mix	C. B. Puro	A .Ci .Diario	Aporte E. Gestionable		E. Reno. NO Aprov		Max. P.Hi+Ges
P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P. (GW)	GWh/año	P.(GW)	P.(GW)	GWh	GWh/año	% [1]	GWh/año	% [2]	GW
7,1	54431	107,6	233393	71,7	106917	2,3	10,0	200	22428	5,0	35107	10,0	64,9
7,1	54431	106,4	230789	70,9	105724	2,3	12,0	200	22704	5,0	31434	9,0	64,9
7,1	54431	105,3	228511	70,2	104680	2,3	15,0	200	22929	5,0	28177	8,2	65,0
7,1	54431	105,0	227859	70,0	104382	2,3	18,0	200	22623	5,0	26825	7,8	65,0
7,1	54431	104,7	227208	69,8	104084	2,3	20,0	200	22964	5,0	26173	7,6	65,0

En este caso, según la Tabla 40 al aumentar la capacidad del SACD en 10 GWh ha reducido la E. Renovable no aprovechada aproximadamente un 2.4%.

1.9.9 Conclusiones

A continuación, se presentan los parámetros fundamentales de todas las opciones mencionadas previamente. Estas incluyen la potencia EOL y SFV requerida para satisfacer las necesidades energéticas de cada opción, así como la energía renovable no aprovechada y la potencia combinada de las Centrales (Hi + Ges). Se han obtenido resultados considerando tanto el uso de las CN existentes como su exclusión de la ecuación.

Tabla 41. Parámetros fundamentales de todas las opciones.

Opción	C. Nucleares	Eólica	Solar Fotovoltaica	Aporte E. Gestionable	E. Reno. NO Aprov	Max. P.Hi+Ges
	P. (GW)	P. (GW)	P. (GW)	% [1]	% [2]	GW
A	0,0	55,5	55,5	5,0	4,4	36,7
A.1	7,1	38,4	38,4	5,0	1,0	30,2
B	0,0	73,8	49,2	5,0	5,3	48,3
B.1	7,1	53,7	35,8	5,0	2,2	41,9
C	0,0	91,1	60,7	5,0	7,2	55,9
C.1	7,1	70,1	46,7	5,0	4,1	49,6
D	0,0	130,5	87,0	5,0	12,6	71,2
D.1	7,1	107,6	71,7	5,0	10,0	64,9

Basándonos en los datos de la tabla, se puede concluir que el objetivo del trabajo es viable, siempre y cuando se logren alcanzar las capacidades de potencia instalada indicadas.

1.9.10 Visión de futuro

El TFM realizado y la Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050 están estrechamente relacionados y comparten objetivos comunes. Ambos se centran en la transición hacia un modelo económico más sostenible y respetuoso con el clima. A continuación, se

muestran esquemas que reflejan la evolución programada según la Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050.

En el sector de la edificación, se promoverán políticas de eficiencia energética en la construcción y rehabilitación de edificios, incentivando la utilización de materiales y técnicas sostenibles. Se fomentará la implementación de sistemas de energía renovable en los edificios, como la instalación de paneles solares fotovoltaicos y la incorporación de sistemas de climatización eficientes. Asimismo, se impulsarán programas de formación y concienciación para promover un consumo responsable de energía en los hogares y edificios comerciales.

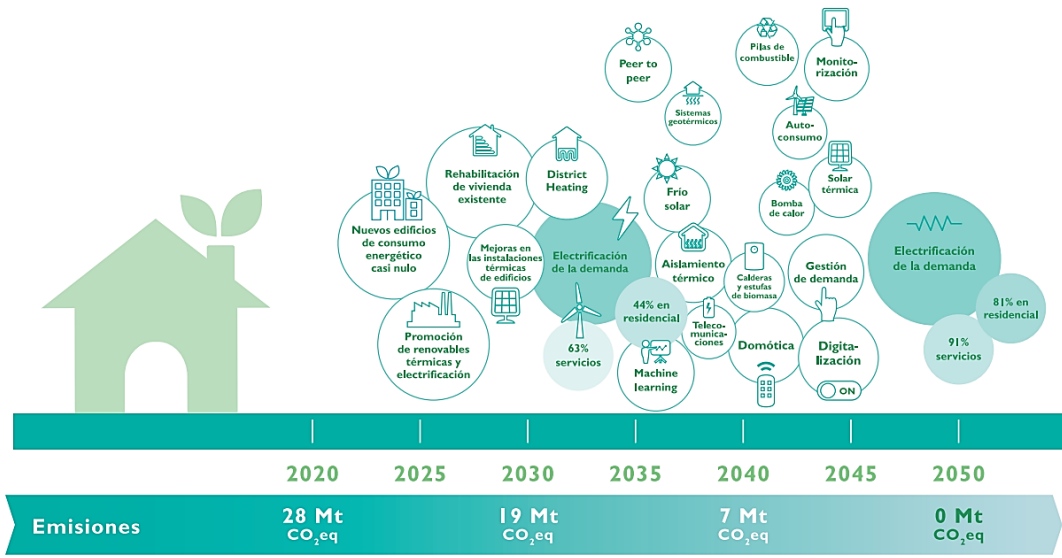


Figura 40. Evolución sector edificación^[4].

En el ámbito del transporte y la movilidad, se buscará reducir las emisiones de gases de efecto invernadero promoviendo la electrificación de la flota de vehículos, tanto en el sector privado como en el transporte público. Se fomentará el uso de vehículos eléctricos y se desarrollarán infraestructuras de recarga accesibles y eficientes. Además, se promoverán medidas para mejorar la eficiencia energética en el transporte y se impulsará la investigación y desarrollo de tecnologías limpias y alternativas.

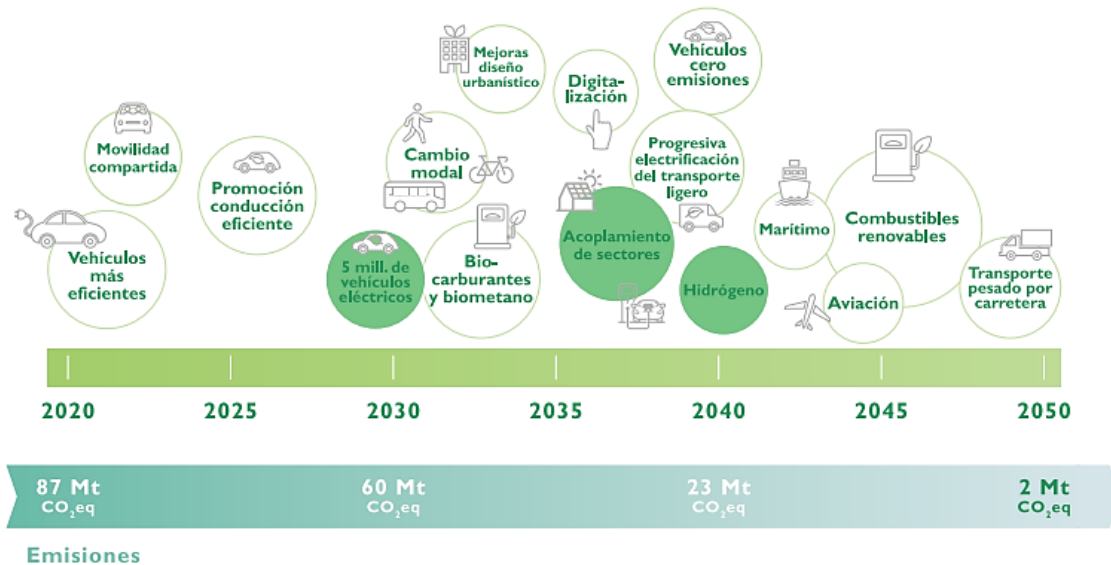


Figura 41. Evolución del transporte y la movilidad^[4].

En cuanto a la evolución del sector eléctrico renovable, se prevé un crecimiento significativo en la generación de energía a partir de fuentes renovables como la energía eólica y solar fotovoltaica. Se impulsarán inversiones en infraestructuras y tecnologías necesarias para aumentar la capacidad de generación renovable y promover la integración de sistemas de almacenamiento de energía, como el uso de baterías y el desarrollo de sistemas de almacenamiento a gran escala.

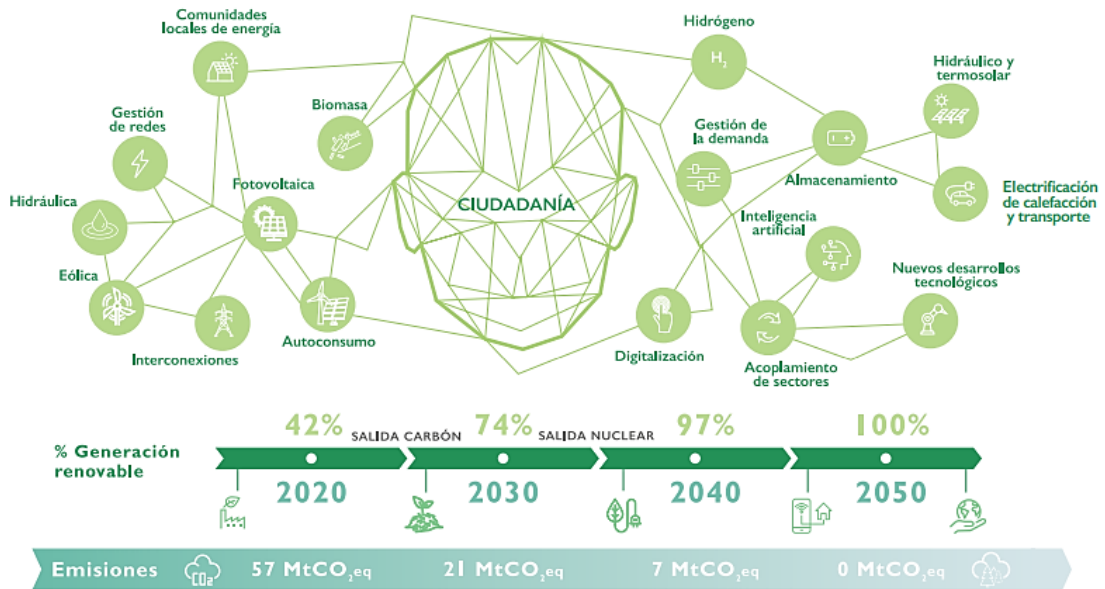


Figura 42. Evolución del sector eléctrico renovable^[4].

1.10 Planificación

No se aplica en este trabajo.

1.11 Orden de prioridad entre los documentos

No se aplica en este trabajo.

2 Conclusiones finales

La conclusión de este trabajo muestra que la transición hacia un Sistema Eléctrico Español basado en energías renovables es técnicamente viable, aunque enfrenta desafíos relacionados con el almacenamiento de energía eléctrica durante períodos de baja generación renovable. Es importante tener en cuenta que la implementación de un sistema eléctrico basado en energías renovables requerirá una inversión significativa en infraestructura y tecnologías de generación y almacenamiento de energía, así como en redes de transmisión y distribución de energía eléctrica. Además, es fundamental considerar la adaptación de la demanda y la integración de fuentes de energía más limpias en diferentes sectores, como el transporte y la calefacción.

Para adaptar la generación de energía eléctrica a la demanda, la mejor opción es combinar diferentes tecnologías de almacenamiento. Esto significa utilizar una variedad de sistemas, como centrales hidráulicas de bombeo, baterías, sales fundidas y almacenamiento de hidrógeno. Al combinar estas tecnologías, se pueden aprovechar sus fortalezas individuales y mejorar la eficiencia y confiabilidad del sistema eléctrico. Esta combinación diversificada es clave para lograr una transición hacia una matriz energética más sostenible y basada en fuentes renovables.

En España, es posible reemplazar la generación actual de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles por plantas eólicas y solares fotovoltaicas, y ajustar la generación a la demanda mediante centrales hidráulicas. Sin embargo, se necesita contar con una fuente de energía gestionable, como centrales térmicas que utilicen energía renovable y/o centrales de ciclo combinado. Esto permitirá garantizar un suministro estable y seguro de electricidad mientras se avanza hacia un sistema más sostenible.

En el caso de España, es importante considerar que los perfiles de generación con energía eólica (EOL) y la disponibilidad de energía hidráulica pueden variar de un año a otro. Cuando la generación con EOL y energía hidráulica disminuye, es necesario aumentar el aporte de energías gestionables, como las centrales de ciclo combinado. Por otro lado, cuando la generación con estas fuentes aumenta, se incrementa el Exceso E. eléctrica Renovable Generada (E.E.R.G.), lo que puede abrir oportunidades de negocio debido a su bajo coste marginal. En el caso de España, las centrales de ciclo combinado, que ya están instaladas con una capacidad de 24.6 GW, pueden proporcionar una respuesta rápida a las variaciones imprevistas de la energía hidráulica y eólica. Estas centrales solo requieren gastos de mantenimiento para estar disponibles en cualquier momento.

Invertir en energías renovables a pesar de los desafíos puede tener beneficios económicos y ambientales a largo plazo. Por un lado, reduce los costos asociados a la generación de energía a partir de combustibles fósiles y ayuda a disminuir las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático. Además, un sistema eléctrico basado en energías renovables mejora la seguridad energética al depender menos de la importación de combustibles fósiles y no se depende tanto respecto a las fluctuaciones de precios en los mercados internacionales de energía.

Por lo tanto, es crucial continuar con la investigación y el desarrollo de tecnologías y estrategias de gestión de la energía eléctrica que permitan optimizar la eficiencia y rentabilidad de los sistemas eléctricos basados en energías renovables. Esto incluye el desarrollo de soluciones de almacenamiento de energía más avanzadas, la implementación de sistemas de gestión de la demanda y la promoción de una mayor colaboración entre los diferentes agentes del sector energético.

3 Anexos

3.1 Documentación inicial

3.1.1 Gráficos perfiles diario energía eléctrica

Se obtuvieron los datos de la demanda de la red eléctrica en España en 2018 y 2022, con una resolución horaria. A partir de estos datos, se generaron las siguientes Figuras para observar las diferencias entre ambos años. A continuación, se presentan las Figuras mencionadas anteriormente:

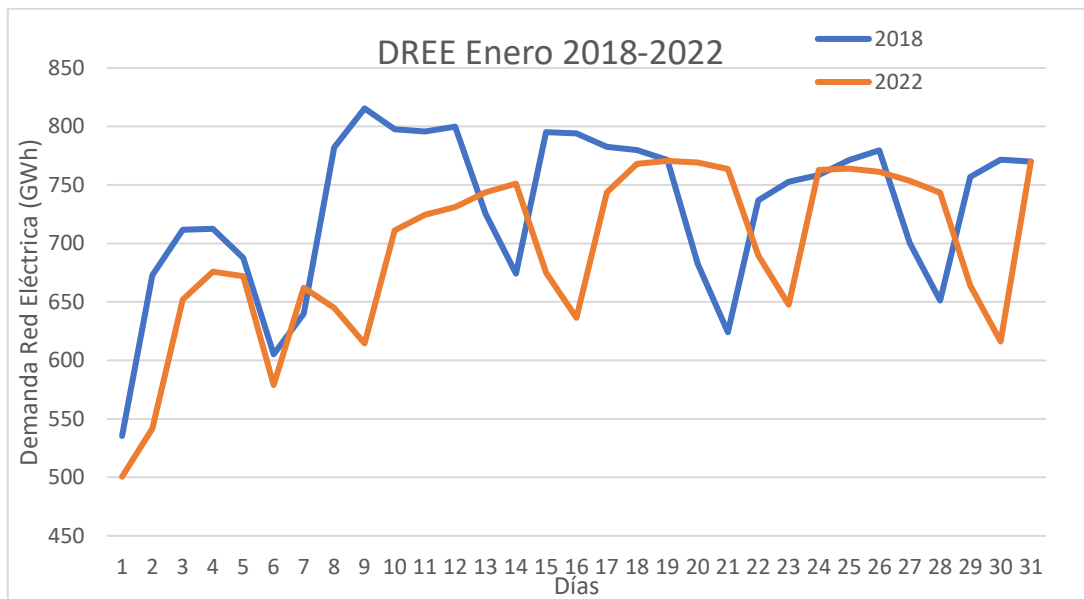


Figura 43. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de enero.

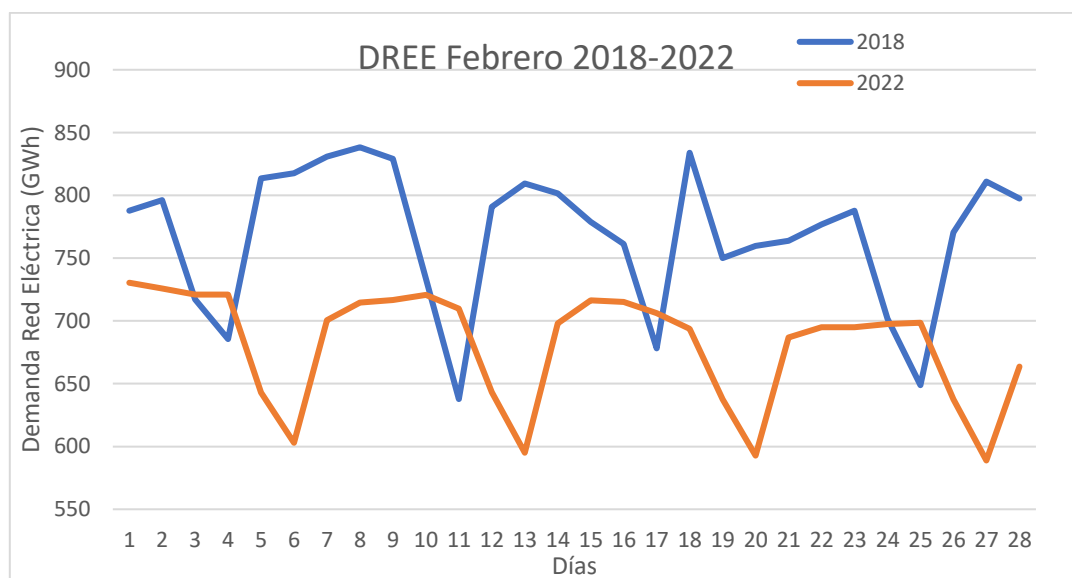


Figura 44. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de febrero.

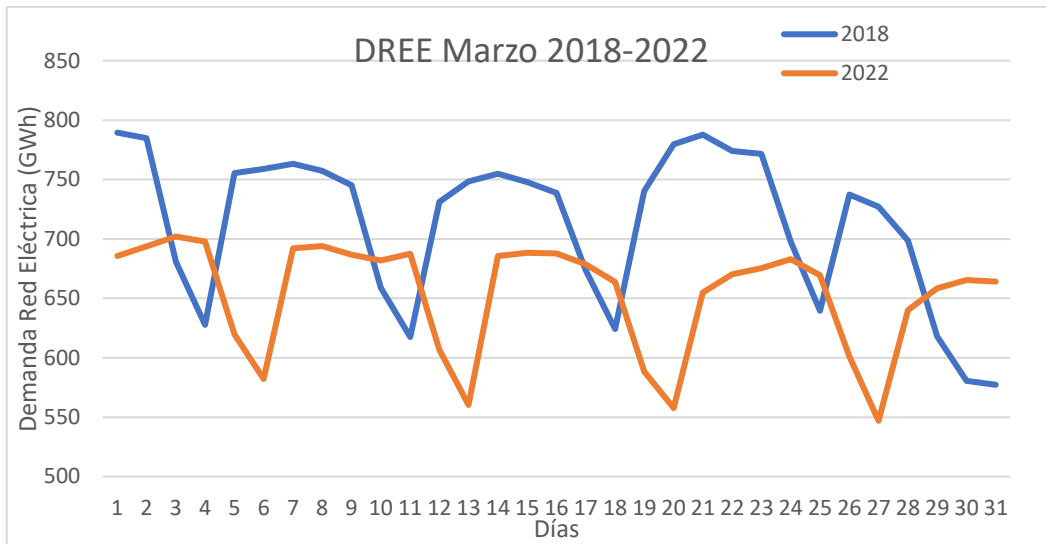


Figura 45. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de marzo.

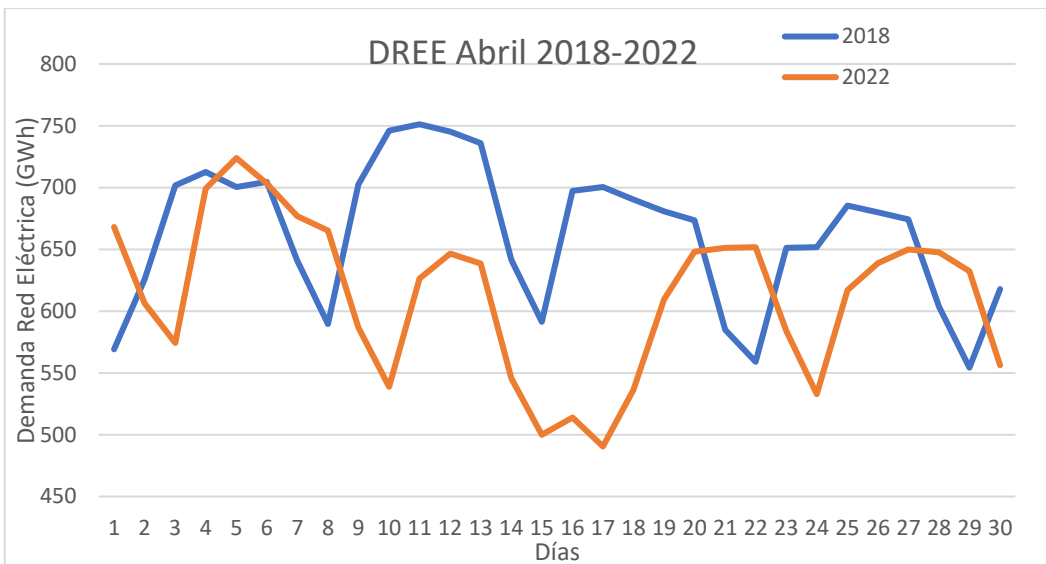


Figura 46. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de abril.

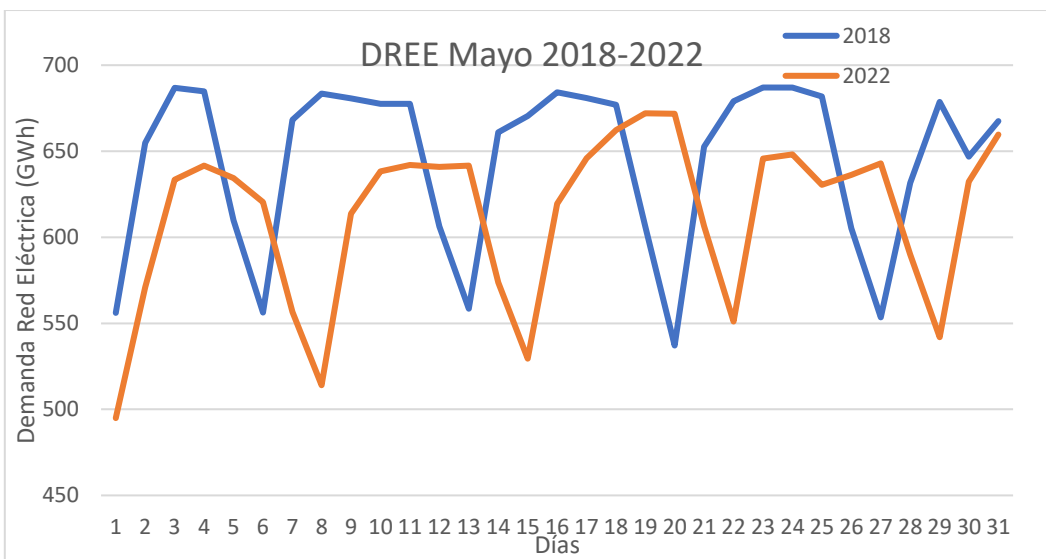


Figura 47. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de mayo.

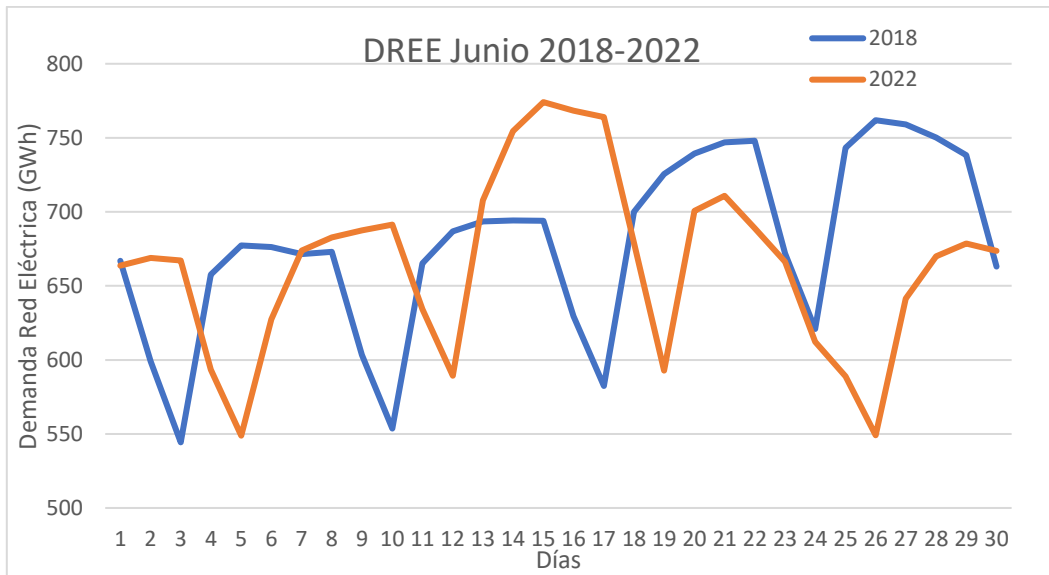


Figura 48. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de junio.

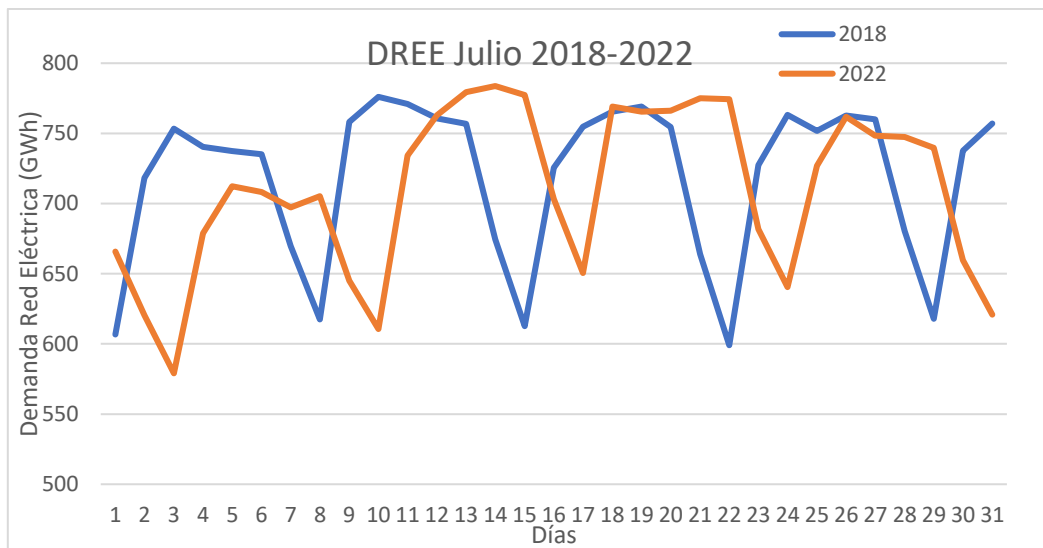


Figura 49. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de julio.

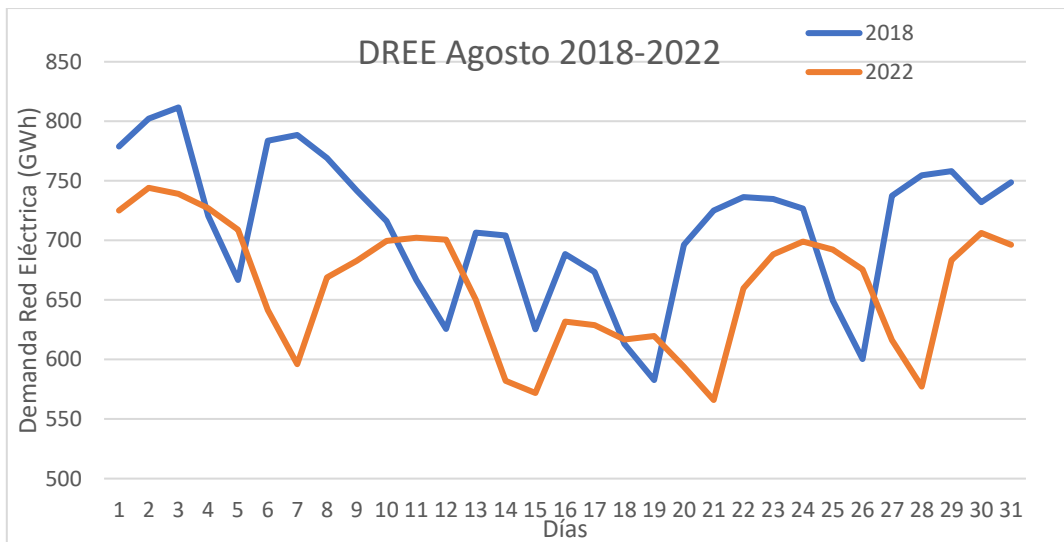


Figura 50. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de agosto.

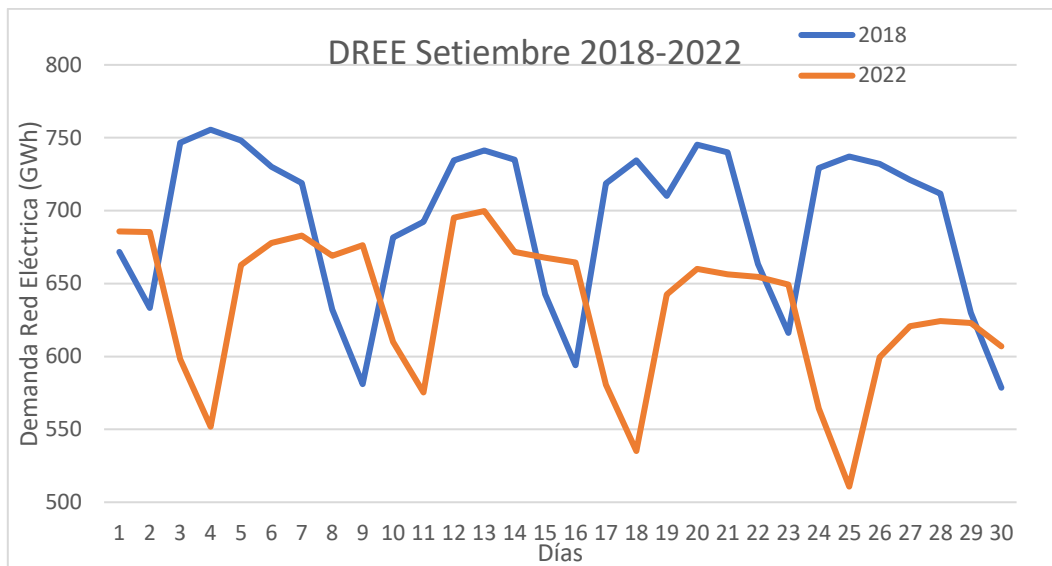


Figura 51. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de setiembre.

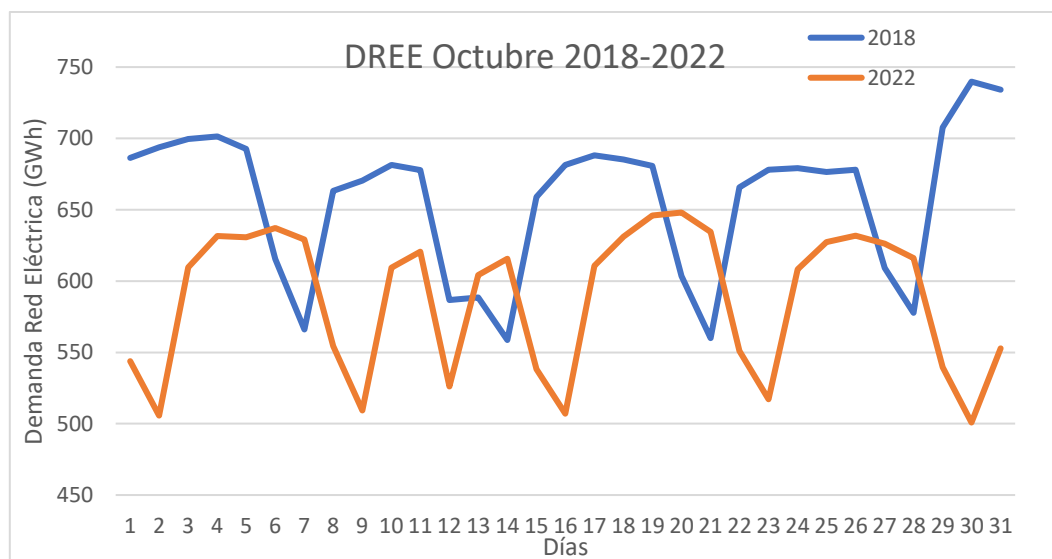


Figura 52. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de octubre.

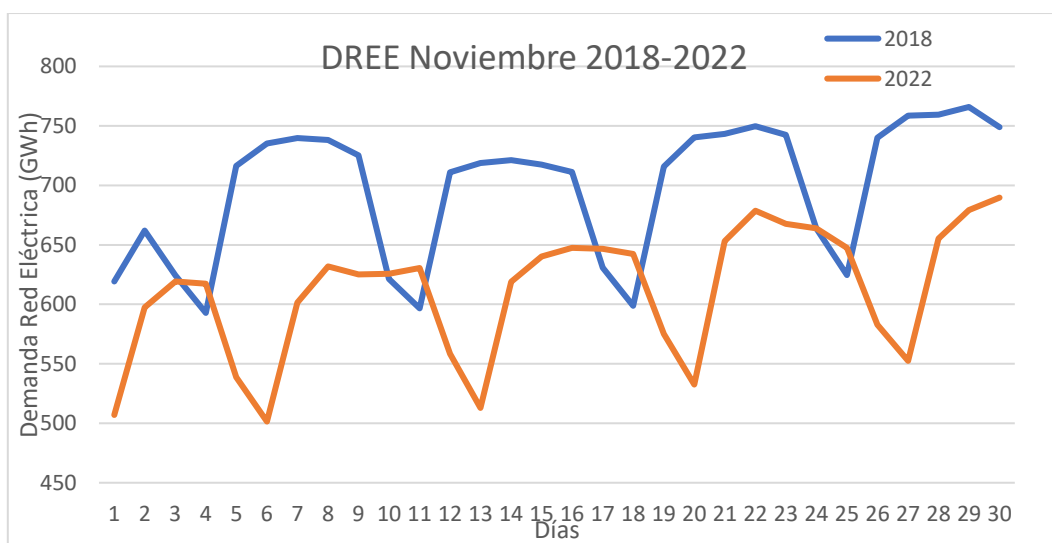


Figura 53. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de noviembre.

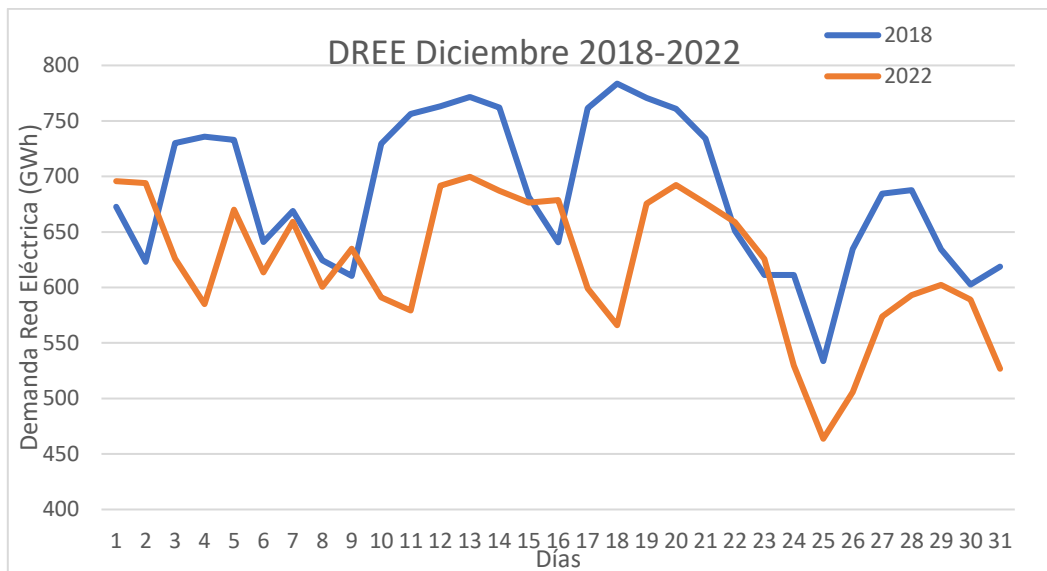


Figura 54. Demanda de la Red Eléctrica Española en el mes de diciembre.

Al analizar las Figuras anteriores, se pueden observar patrones en los gráficos, sin embargo, en algunos días varían. Esto se debe a que los fines de semana caen en diferentes días de la semana, lo que afecta los picos de consumo. A pesar de estas variaciones, se mantiene un patrón general constante. También se puede observar una disminución en la demanda de energía eléctrica en España no es significativa. Por lo tanto, los datos del IDAE del año 2018 sobre el consumo de energía primaria y final son válidos. Aunque no hay datos disponibles para el año 2022, es probable que estos consumos hayan disminuido, lo que hace que los cálculos realizados sean también válidos, ya que se estaría considerando un escenario peor que el actual.

Se obtuvieron los datos diarios de la generación de energía EOL y SFV tanto en 2018 como en 2022. A partir de la potencia instalada de cada una de estas fuentes, se calcularon los perfiles energéticos dividiendo los GWh generados por cada fuente entre su potencia instalada. De esta manera, se obtuvieron los valores de $\text{GWh/GW}_{\text{ins}}$. A continuación, se presentan los gráficos que muestran la potencia instalada a lo largo de cada año, así como el perfil energético de la energía EOL y SFV.

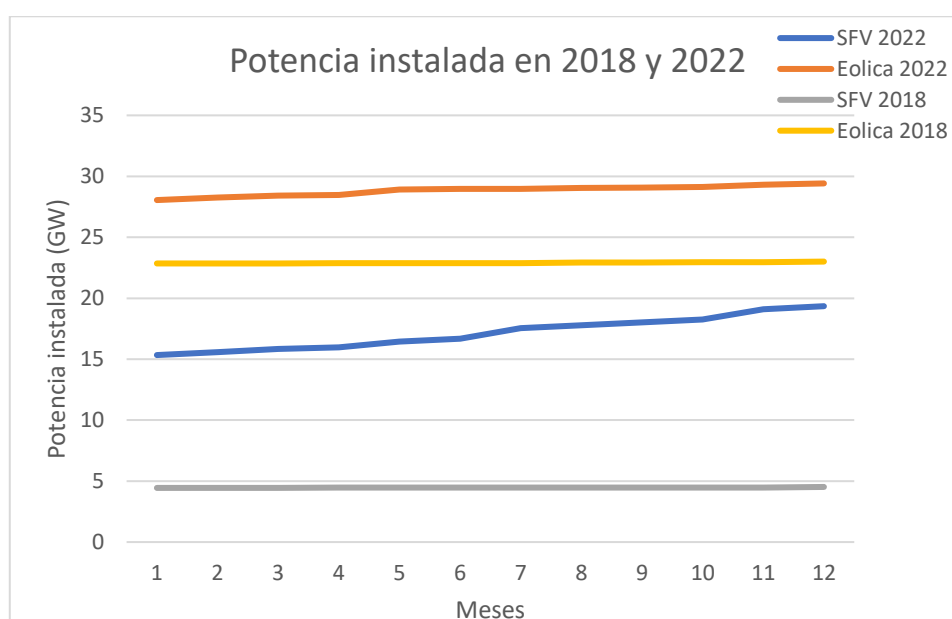


Figura 55. Comparativa de la potencia instalada en 2018 y 2022.

En la Figura anterior se puede apreciar como la solar fotovoltaica va cobrando cada vez más importancia en 2022 ya que ha crecido la potencia instalada.

A continuación, se presentan las comparaciones mensuales de los perfiles diarios de energía entre la eólica y la solar fotovoltaica de 2018 y 2022 expresados en GWh/GW_{ins}^[23].

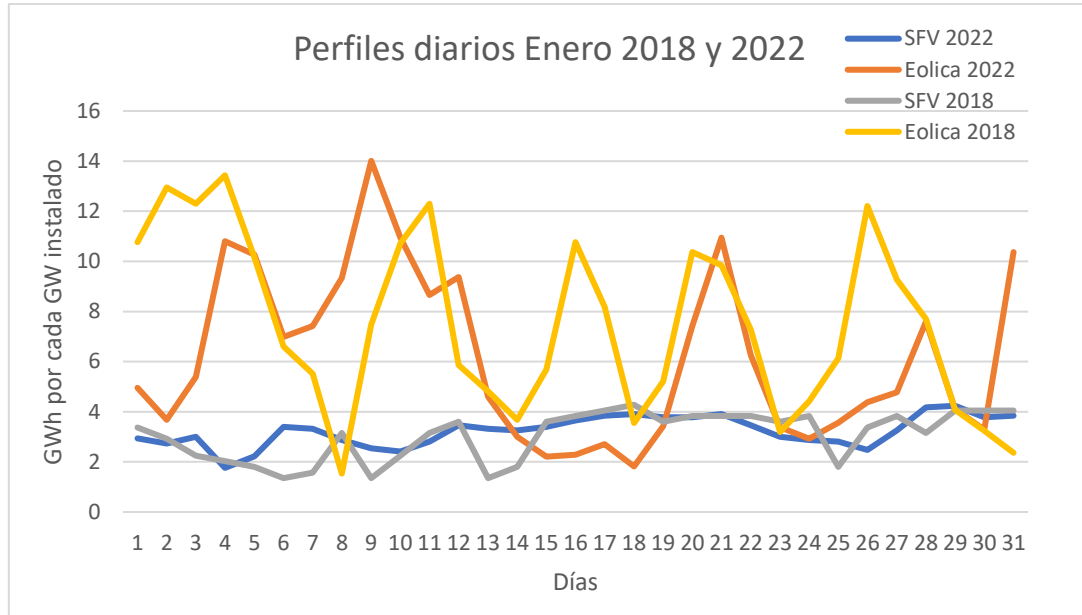


Figura 56. Comparativa entre los perfiles diarios de enero en 2018 y 2022.

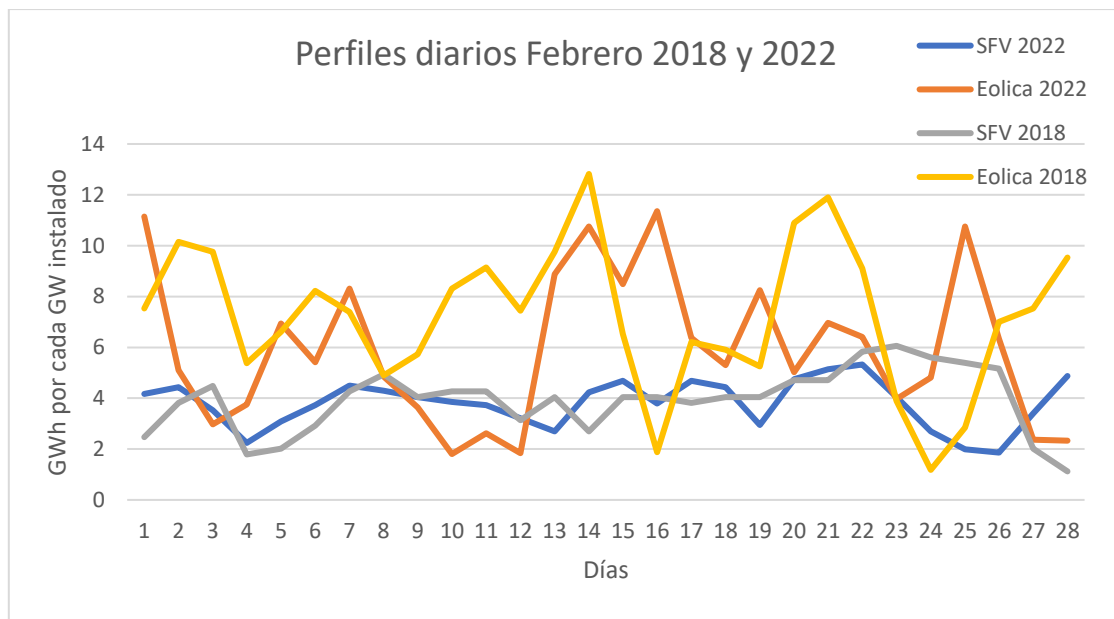


Figura 57. Comparativa entre los perfiles diarios de febrero en 2018 y 2022.

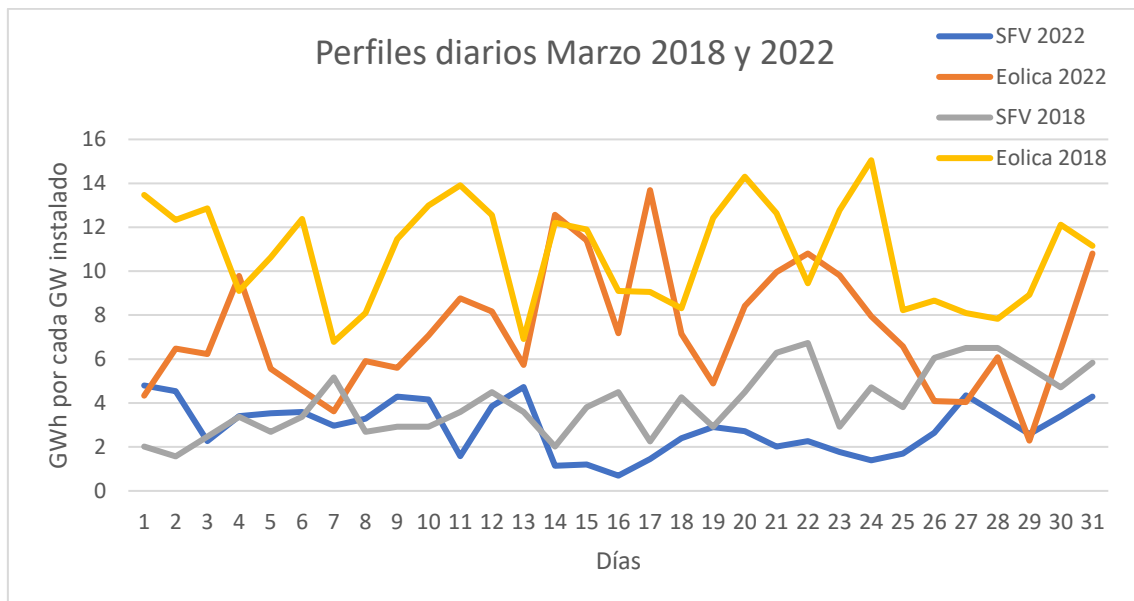


Figura 58. Comparativa entre los perfiles diarios de marzo en 2018 y 2022.

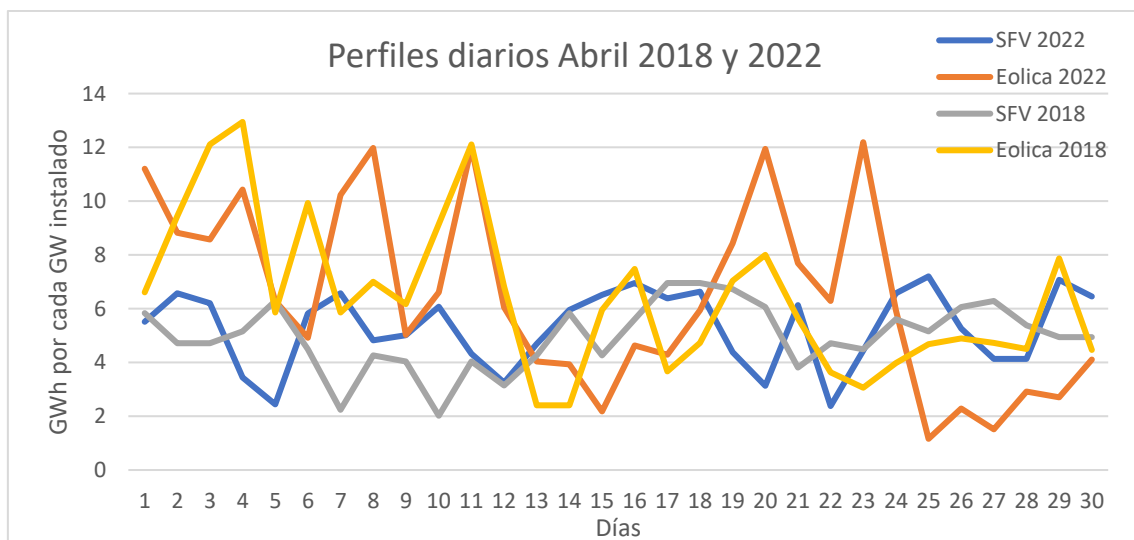


Figura 59. Comparativa entre los perfiles diarios de abril en 2018 y 2022.

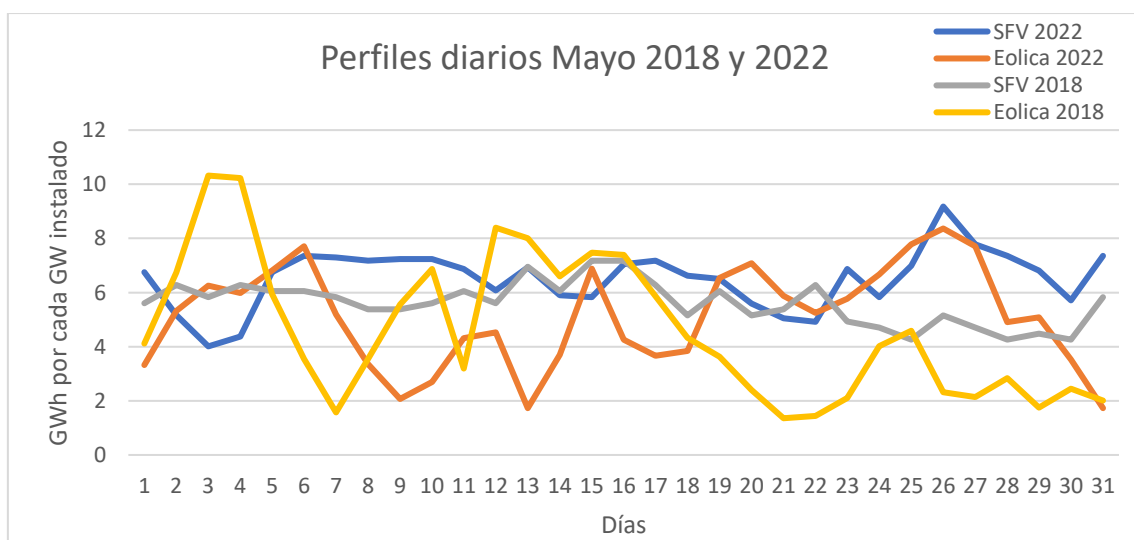


Figura 60. Comparativa entre los perfiles diarios de mayo en 2018 y 2022.

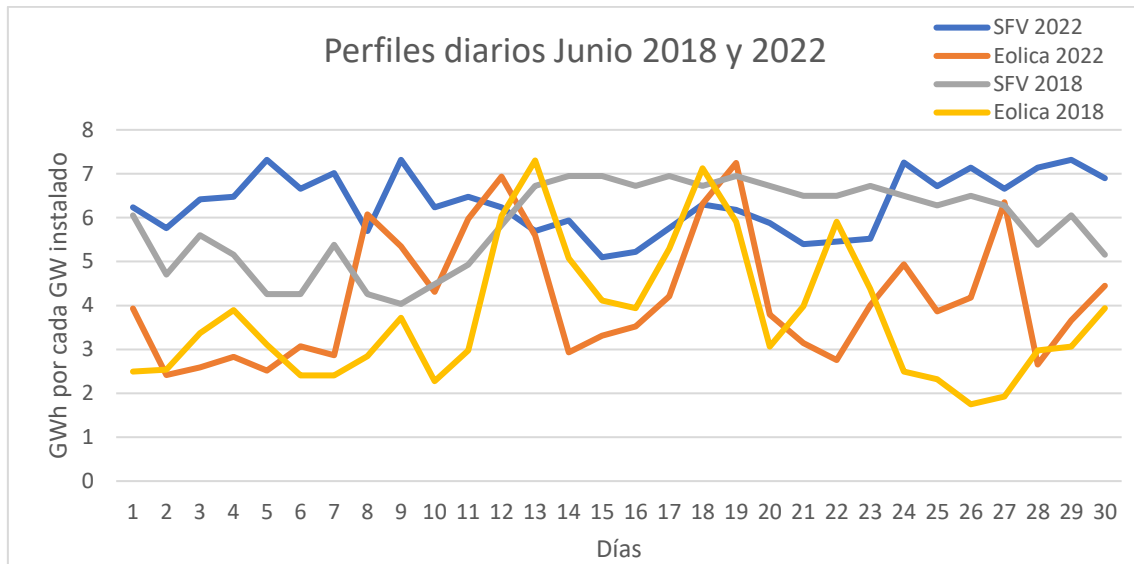


Figura 61. Comparativa entre los perfiles diarios de junio en 2018 y 2022.

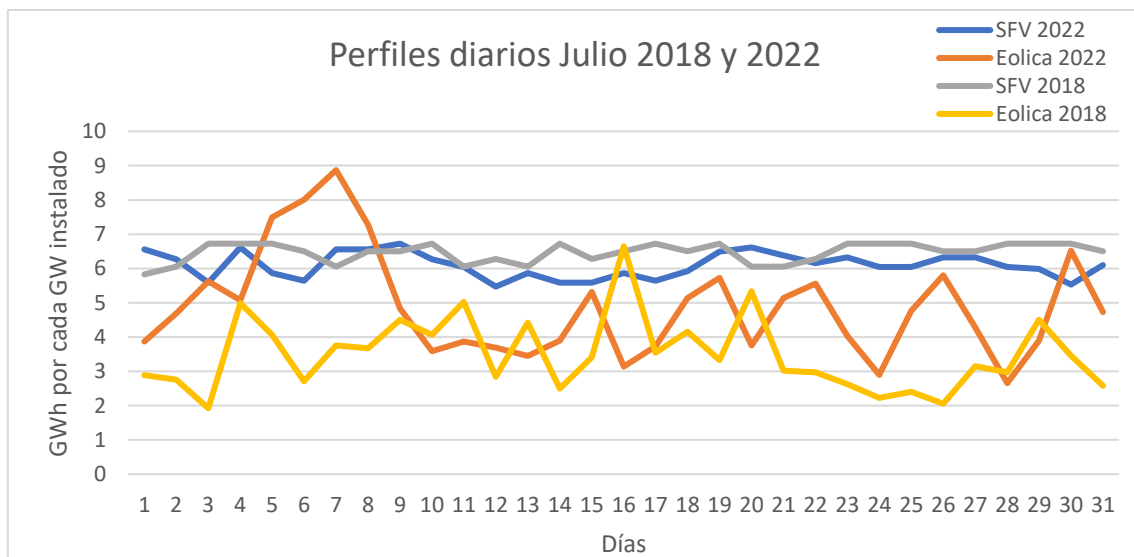


Figura 62. Comparativa entre los perfiles diarios de julio en 2018 y 2022.

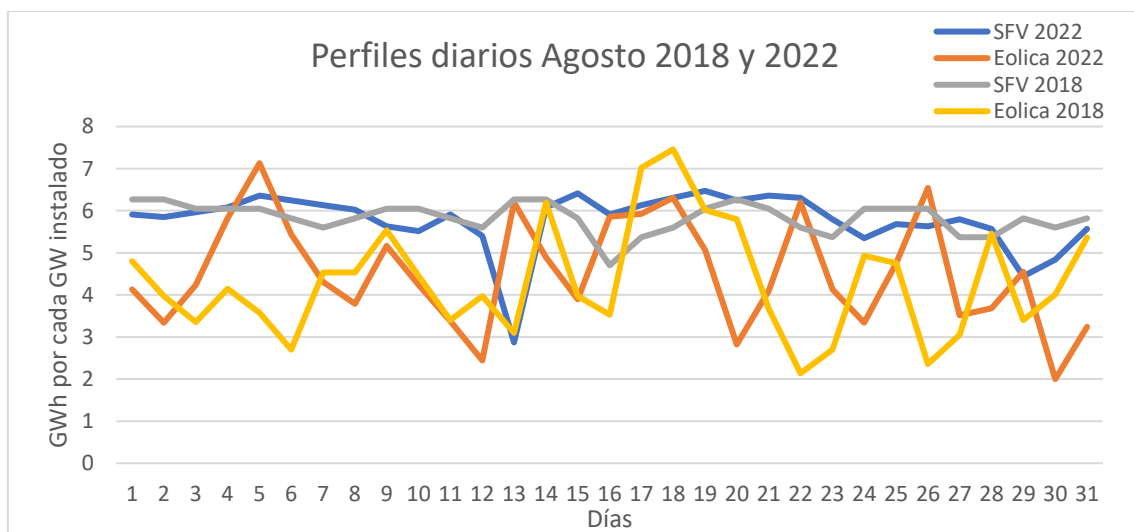


Figura 63. Comparativa entre los perfiles diarios de agosto en 2018 y 2022.

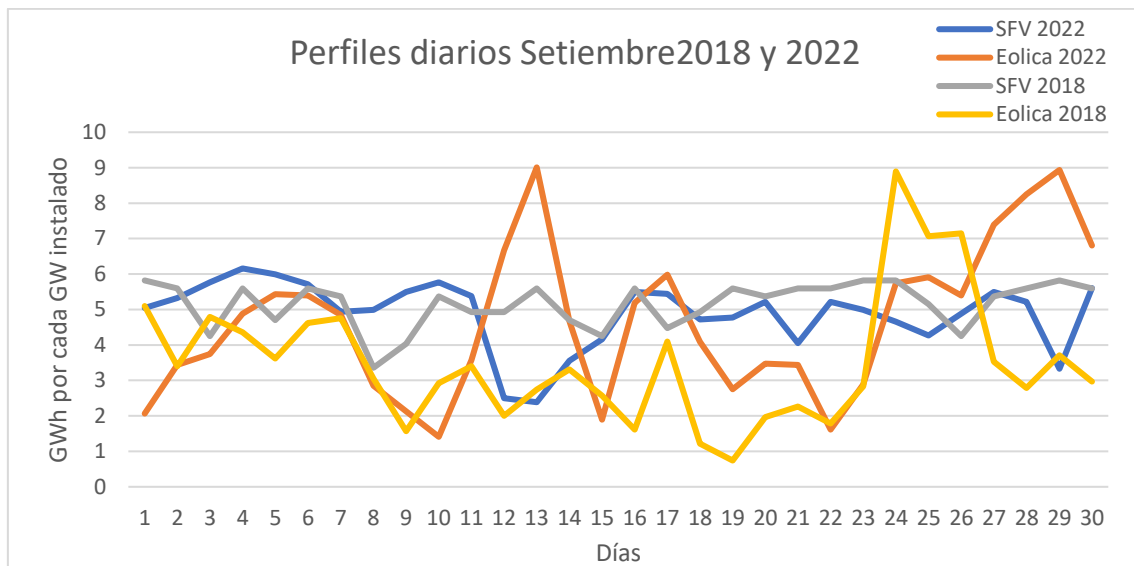


Figura 64. Comparativa entre los perfiles diarios de setiembre en 2018 y 2022.

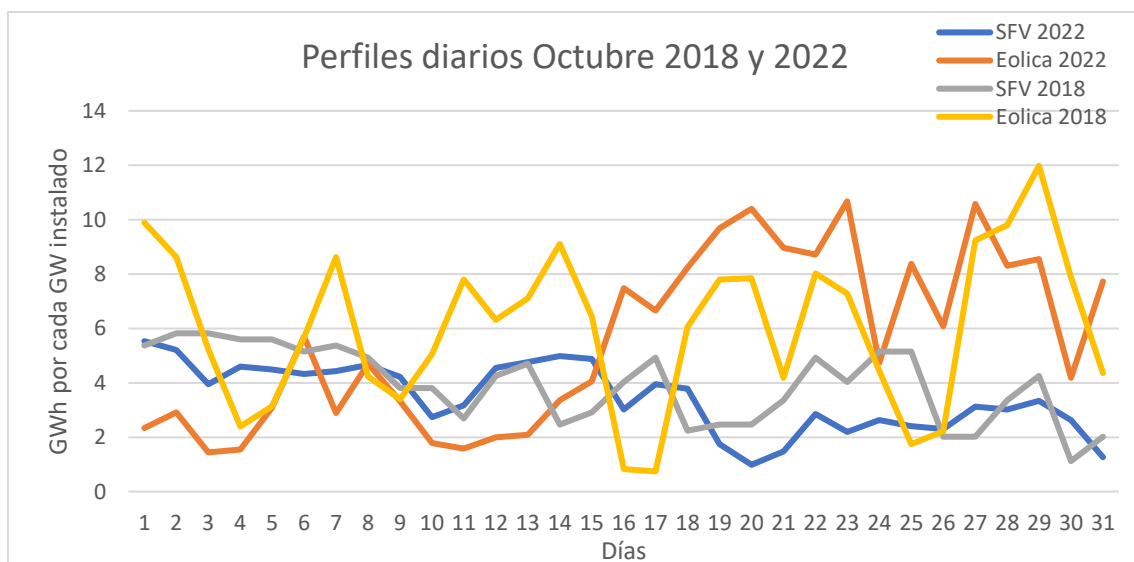


Figura 65. Comparativa entre los perfiles diarios de octubre en 2018 y 2022.

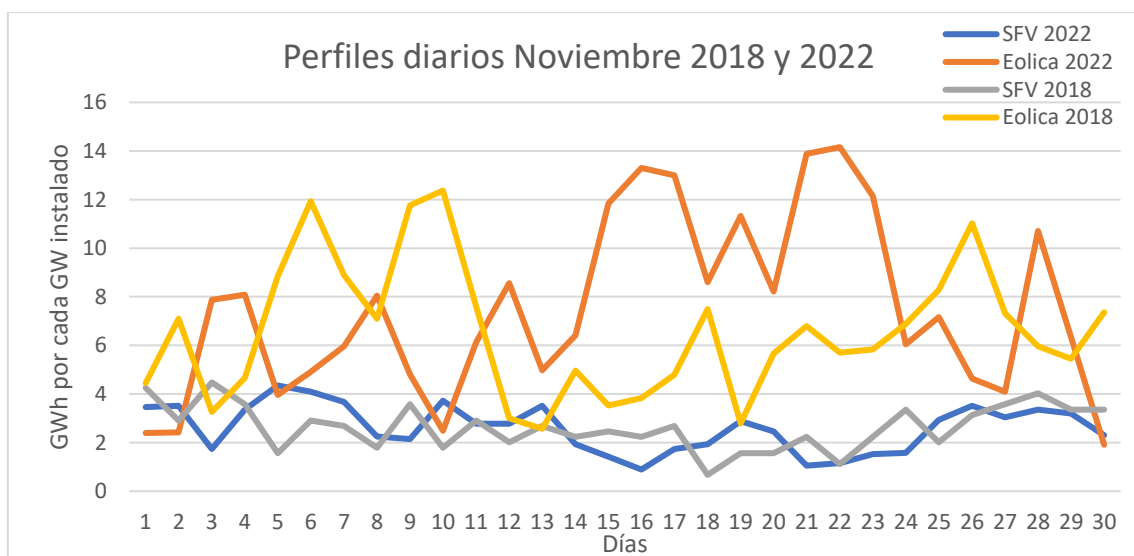


Figura 66. Comparativa entre los perfiles diarios de noviembre en 2018 y 2022.

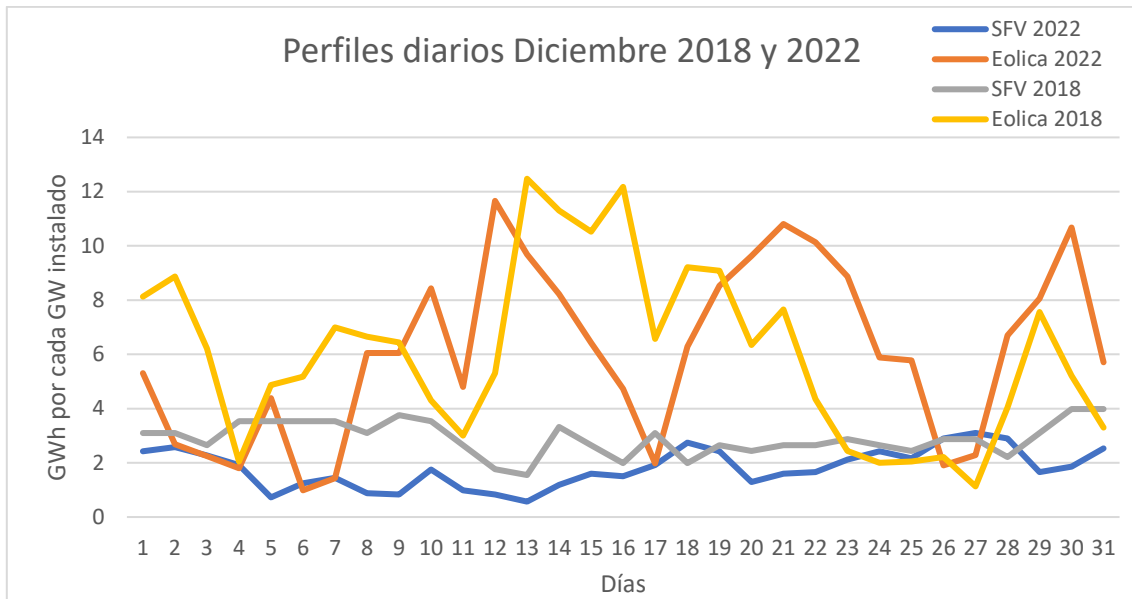


Figura 67. Comparativa entre los perfiles diarios de diciembre en 2018 y 2022.

Según los gráficos presentados, se puede observar que los perfiles diarios de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica entre 2018 y 2022 son similares. Por lo tanto, es posible trabajar con los perfiles de generación de energía de un año a otro, y esto permite una planificación y gestión eficiente de la red eléctrica.

3.1.2 Valores horarios Demanda de la Red Eléctrica

Tabla 42. Valores Horarios de producción de E. eléctrica con Solar Fotovoltaica en enero de 2021.

Valores Horarios de producción de E. eléctrica con Solar Fotovoltaica, enero 2021 (GWh/GW _{ins}) ^[23]																																
Horas/Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	0,03	
10	0,19	0,21	0,24	0,20	0,16	0,15	0,03	0,04	0,04	0,06	0,19	0,25	0,26	0,24	0,23	0,26	0,27	0,26	0,22	0,05	0,14	0,16	0,14	0,18	0,09	0,12	0,12	0,20	0,19	0,11	0,11	
11	0,34	0,36	0,39	0,30	0,30	0,26	0,08	0,07	0,11	0,14	0,34	0,41	0,42	0,38	0,37	0,42	0,43	0,43	0,36	0,09	0,21	0,25	0,22	0,33	0,12	0,18	0,21	0,30	0,28	0,22	0,15	
12	0,38	0,41	0,43	0,33	0,37	0,34	0,11	0,09	0,15	0,20	0,40	0,46	0,47	0,44	0,43	0,47	0,48	0,49	0,39	0,13	0,28	0,27	0,24	0,37	0,15	0,23	0,29	0,37	0,33	0,30	0,19	
13	0,40	0,43	0,45	0,34	0,39	0,36	0,13	0,10	0,17	0,25	0,41	0,48	0,48	0,45	0,45	0,48	0,49	0,49	0,39	0,14	0,28	0,26	0,25	0,39	0,16	0,25	0,32	0,40	0,35	0,35	0,20	
14	0,39	0,42	0,45	0,34	0,40	0,36	0,14	0,09	0,19	0,25	0,44	0,49	0,48	0,46	0,45	0,48	0,49	0,50	0,40	0,14	0,24	0,25	0,25	0,39	0,16	0,22	0,33	0,42	0,35	0,40	0,23	
15	0,33	0,40	0,43	0,28	0,36	0,32	0,12	0,07	0,18	0,27	0,41	0,48	0,46	0,45	0,44	0,46	0,48	0,48	0,35	0,15	0,21	0,28	0,22	0,37	0,15	0,21	0,33	0,42	0,35	0,38	0,20	
16	0,25	0,32	0,36	0,21	0,29	0,19	0,10	0,04	0,13	0,20	0,34	0,42	0,42	0,37	0,38	0,41	0,42	0,44	0,31	0,12	0,14	0,24	0,14	0,26	0,16	0,17	0,32	0,39	0,30	0,33	0,18	
17	0,10	0,14	0,16	0,09	0,14	0,07	0,04	0,01	0,07	0,10	0,19	0,22	0,23	0,20	0,21	0,23	0,22	0,25	0,15	0,07	0,06	0,14	0,07	0,13	0,08	0,09	0,21	0,24	0,19	0,20	0,11	
18	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
V. Diarios SFV Ene-2021 (GWdia/GWins)	2,40	2,73	2,96	2,14	2,51	2,10	0,79	0,57	1,12	1,53	2,81	3,30	3,31	3,09	3,07	3,34	3,40	3,45	2,65	0,91	1,60	1,92	1,57	2,47	1,11	1,52	2,21	2,84	2,40	2,34	1,42	69,6

Tabla 43. Valores Horarios de producción de E. eléctrica con Eólica en enero de 2021.

Valores horarios de producción de E. eléctrica con Eólica, enero 2021 (GWh/GWins) ^[23]																																
Horas/Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0	0,26	0,38	0,40	0,23	0,17	0,11	0,16	0,23	0,37	0,33	0,41	0,30	0,29	0,27	0,35	0,36	0,23	0,21	0,09	0,36	0,56	0,55	0,61	0,57	0,46	0,34	0,27	0,34	0,38	0,51	0,57	
1	0,25	0,37	0,39	0,22	0,15	0,11	0,16	0,25	0,36	0,33	0,40	0,28	0,29	0,28	0,33	0,36	0,23	0,19	0,12	0,36	0,55	0,56	0,63	0,56	0,46	0,32	0,29	0,34	0,39	0,50	0,47	
2	0,26	0,38	0,39	0,23	0,15	0,11	0,16	0,28	0,36	0,34	0,39	0,25	0,29	0,28	0,33	0,36	0,24	0,18	0,15	0,36	0,56	0,56	0,62	0,57	0,46	0,31	0,29	0,35	0,40	0,50	0,45	
3	0,27	0,38	0,38	0,23	0,15	0,11	0,16	0,31	0,37	0,35	0,38	0,23	0,29	0,29	0,33	0,36	0,23	0,17	0,16	0,39	0,54	0,55	0,61	0,56	0,46	0,28	0,29	0,36	0,40	0,48	0,45	
4	0,31	0,38	0,37	0,22	0,15	0,10	0,15	0,31	0,37	0,37	0,38	0,23	0,29	0,31	0,32	0,36	0,24	0,16	0,18	0,41	0,54	0,56	0,62	0,53	0,45	0,28	0,30	0,36	0,39	0,48	0,41	
5	0,33	0,38	0,37	0,22	0,14	0,10	0,15	0,32	0,37	0,38	0,38	0,25	0,29	0,32	0,33	0,36	0,25	0,15	0,19	0,41	0,55	0,57	0,62	0,57	0,43	0,28	0,31	0,36	0,40	0,50	0,42	
6	0,33	0,40	0,37	0,21	0,13	0,09	0,15	0,33	0,38	0,38	0,37	0,24	0,29	0,32	0,33	0,35	0,25	0,14	0,21	0,45	0,58	0,53	0,61	0,54	0,41	0,28	0,32	0,36	0,41	0,50	0,41	
7	0,35	0,41	0,36	0,21	0,13	0,08	0,15	0,35	0,38	0,39	0,37	0,25	0,30	0,33	0,33	0,33	0,25	0,14	0,21	0,47	0,59	0,55	0,62	0,56	0,44	0,27	0,34	0,37	0,41	0,54	0,42	
8	0,37	0,40	0,35	0,21	0,12	0,08	0,16	0,36	0,38	0,40	0,36	0,25	0,30	0,34	0,33	0,31	0,27	0,14	0,22	0,51	0,57	0,51	0,62	0,55	0,44	0,24	0,35	0,35	0,40	0,55	0,38	
9	0,39	0,42	0,33	0,20	0,11	0,08	0,16	0,37	0,39	0,39	0,35	0,25	0,29	0,33	0,33	0,29	0,26	0,12	0,23	0,51	0,54	0,55	0,63	0,51	0,44	0,23	0,34	0,35	0,37	0,61	0,37	
10	0,39	0,43	0,31	0,18	0,10	0,08	0,15	0,36	0,38	0,38	0,35	0,24	0,28	0,32	0,33	0,26	0,24	0,10	0,22	0,52	0,55	0,56	0,63	0,52	0,42	0,22	0,33	0,34	0,34	0,62	0,40	
11	0,38	0,43	0,30	0,18	0,08	0,07	0,13	0,35	0,39	0,38	0,33	0,23	0,26	0,31	0,32	0,23	0,22	0,08	0,21	0,53	0,57	0,58	0,64	0,50	0,41	0,19	0,31	0,32	0,33	0,67	0,46	
12	0,40	0,44	0,32	0,20	0,08	0,08	0,12	0,34	0,40	0,38	0,33	0,22	0,24	0,30	0,30	0,20	0,21	0,07	0,21	0,55	0,59	0,61	0,66	0,51	0,41	0,19	0,31	0,32	0,34	0,67	0,48	
13	0,42	0,44	0,34	0,21	0,08	0,09	0,11	0,33	0,41	0,38	0,33	0,22	0,23	0,30	0,31	0,19	0,23	0,06	0,21	0,54	0,63	0,64	0,68	0,55	0,41	0,20	0,33	0,33	0,36	0,65	0,51	
14	0,43	0,45	0,37	0,22	0,09	0,09	0,10	0,34	0,40	0,39	0,32	0,23	0,23	0,31	0,32	0,19	0,26	0,05	0,22	0,56	0,64	0,65	0,69	0,55	0,42	0,20	0,35	0,34	0,37	0,63	0,52	
15	0,43	0,44	0,37	0,22	0,09	0,10	0,10	0,35	0,40	0,39	0,33	0,24	0,23	0,31	0,32	0,19	0,26	0,06	0,22	0,58	0,64	0,66	0,66	0,55	0,42	0,20	0,37	0,35	0,36	0,62	0,53	
16	0,42	0,45	0,36	0,22	0,08	0,10	0,10	0,35	0,39	0,40	0,33	0,24	0,23	0,33	0,33	0,19	0,25	0,04	0,22	0,57	0,65	0,66	0,65	0,53	0,41	0,19	0,37	0,35	0,35	0,56	0,49	
17	0,40	0,43	0,33	0,18	0,09	0,10	0,11	0,36	0,38	0,40	0,32	0,25	0,23	0,34	0,33	0,20	0,26	0,04	0,23	0,57	0,64	0,67	0,63	0,50	0,41	0,17	0,34	0,34	0,34	0,57	0,47	
18	0,37	0,43	0,32	0,15	0,08	0,11	0,12	0,37	0,36	0,40	0,33	0,28	0,25	0,36	0,34	0,20	0,27	0,04	0,25	0,55	0,61	0,63	0,63	0,47	0,42	0,17	0,34	0,34	0,35	0,59	0,50	
19	0,37	0,42	0,30	0,17	0,09	0,12	0,16	0,37	0,35	0,41	0,35	0,30	0,26	0,35	0,36	0,22	0,28	0,04	0,27	0,55	0,62	0,61	0,60	0,49	0,42	0,19	0,34	0,34	0,37	0,59	0,55	
20	0,37	0,42	0,29	0,19	0,10	0,13	0,19	0,37	0,34	0,41	0,36	0,30	0,26	0,36	0,36	0,23	0,27	0,04	0,29	0,55	0,60	0,60	0,59	0,50	0,40	0,20	0,35	0,35	0,38	0,60	0,58	
21	0,37	0,42	0,30	0,18	0,11	0,15	0,21	0,36	0,34	0,42	0,35	0,30	0,26	0,36	0,35	0,23	0,25	0,05	0,31	0,55	0,60	0,59	0,59	0,50	0,38	0,22	0,34	0,37	0,42	0,62	0,60	
22	0,38	0,41	0,30	0,19	0,11	0,16	0,23	0,37	0,32	0,42	0,34	0,30	0,26	0,36	0,36	0,24	0,23	0,06	0,33	0,54	0,61	0,60	0,60	0,49	0,36	0,24	0,33	0,37	0,45	0,60	0,59	
23	0,37	0,41	0,27	0,18	0,12	0,16	0,24	0,37	0,33	0,42	0,32	0,29	0,27	0,36	0,35	0,24	0,23	0,07	0,35	0,54	0,58	0,60	0,58	0,48	0,35	0,25	0,33	0,37	0,48	0,59	0,56	
Demanda REE (GWh/día)	8,60	9,88	8,20	4,84	2,69	2,52	3,61	8,11	8,94	9,22	8,49	6,19	6,41	7,73	7,99	6,46	5,90	2,37	5,29	11,94	14,10	14,14	15,02	12,67	10,09	5,66	7,85	8,37	9,21	13,77	11,58	257,9

Tabla 44. Valores Horarios de producción de E. eléctrica con Solar Termoelectrica en enero de 2021.

Valores Horarios de producción de E. eléctrica con Solar Termoelectrica, enero 2021 (GWh/GW _{ins}) ^[23]																																
Horas/Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	
11	0,02	0,04	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03	0,06	0,05	0,06	0,10	0,12	0,11	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,06	0,06	0,03	0,00	
12	0,16	0,23	0,26	0,15	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,15	0,22	0,31	0,24	0,24	0,34	0,35	0,34	0,19	0,00	0,04	0,07	0,01	0,03	0,00	0,02	0,02	0,13	0,12	0,01	0,01	
13	0,20	0,31	0,39	0,17	0,12	0,02	0,00	0,00	0,07	0,04	0,29	0,36	0,43	0,34	0,33	0,42	0,42	0,44	0,20	0,00	0,05	0,07	0,03	0,04	0,00	0,04	0,04	0,14	0,13	0,01	0,00	
14	0,23	0,34	0,40	0,16	0,13	0,02	0,00	0,00	0,10	0,03	0,32	0,37	0,46	0,35	0,34	0,45	0,42	0,44	0,16	0,01	0,04	0,04	0,05	0,05	0,00	0,02	0,06	0,16	0,13	0,01	0,00	
15	0,20	0,43	0,47	0,18	0,10	0,05	0,00	0,00	0,14	0,03	0,40	0,45	0,51	0,36	0,40	0,51	0,45	0,43	0,16	0,02	0,05	0,03	0,06	0,07	0,00	0,01	0,10	0,19	0,17	0,06	0,00	
16	0,16	0,51	0,58	0,21	0,09	0,01	0,00	0,01	0,16	0,07	0,47	0,54	0,60	0,41	0,41	0,60	0,51	0,52	0,16	0,00	0,06	0,03	0,06	0,12	0,02	0,02	0,12	0,25	0,19	0,14	0,00	
17	0,12	0,51	0,59	0,16	0,14	0,00	0,01	0,01	0,14	0,16	0,52	0,60	0,63	0,45	0,53	0,64	0,52	0,53	0,18	0,00	0,06	0,02	0,04	0,09	0,04	0,01	0,13	0,29	0,19	0,18	0,00	
18	0,06	0,22	0,24	0,08	0,06	0,00	0,01	0,01	0,08	0,08	0,25	0,30	0,34	0,24	0,30	0,36	0,25	0,31	0,07	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,10	0,20	0,13	0,13	0,00	
19	0,02	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07	0,05	0,02	0,08	0,05	0,06	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	
20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
21	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
22	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	
23	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total Ster	1,30	2,70	3,06	1,22	0,79	0,18	0,11	0,12	0,82	0,55	2,53	2,99	3,52	2,53	2,75	3,74	3,26	3,33	1,27	0,12	0,42	0,38	0,33	0,48	0,17	0,20	0,65	1,53	1,24	0,58	0,01	42,9

Tabla 45. Valores Horarios de producción de E. eléctrica con otras Renovables en enero de 2021.

Valores horarios de producción de E. eléctrica con otras Renovables, enero 2021 (GWh/GWins) ^[23]																																
Horas/Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
0	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
1	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
2	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
3	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
4	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
5	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
6	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
7	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
8	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
9	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
10	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
11	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
12	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
13	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
14	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
15	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
16	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
17	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
18	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
19	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
20	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
21	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
22	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
23	0,51	0,48	0,47	0,46	0,47	0,45	0,42	0,42	0,43	0,41	0,39	0,42	0,45	0,49	0,46	0,49	0,50	0,49	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52	0,50	
Total GWh/día	12,13	11,58	11,19	11,11	11,35	10,78	10,13	10,14	10,33	9,72	10,12	10,12	10,84	11,74	10,99	11,82	12,01	11,77	11,49	12,04	12,38	12,71	13,05	12,62	12,78	12,41	12,16	12,12	12,46	12,59	12,10	358,8

3.1.3 Perfil horario de la demanda de calefacción y ACS

Tabla 46. Estimación de los Consumos ACS de cada uno de los meses del año.

Estimación de los Consumos ACS de cada uno de los meses del año													
Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
%	12,35	12,3	12,3	8,6	8,0	4,9	4,3	1,9	4,3	7,4	11,1	12,3	100
GWh/Mes	877,9	877,9	877,9	614,5	570,6	351,2	307,3	131,7	307,3	526,7	790,1	877,9	7111
GWh/día	28,3	31,4	28,3	20,5	18,4	11,7	9,9	4,2	10,2	17,0	26,3	28,3	235
Consumos horarios de un día tipo de cada mes (GWh)													
Horas del día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
8	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
9	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
10	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
11	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
12	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
13	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
14	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
15	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
16	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
17	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
18	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
19	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
20	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
21	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
22	1,77	1,96	1,77	1,28	1,15	0,73	0,62	0,27	0,64	1,06	1,65	1,77	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	28,3	31,4	28,3	20,5	18,4	11,7	9,9	4,2	10,2	17,0	26,3	28,3	
	877,9	877,9	877,9	614,5	570,6	351,2	307,3	131,7	307,3	526,7	790,1	877,9	7111

Tabla 47. Estimación de los consumos de calefacción de cada uno de los meses del año.

Estimación de los Consumos de Calefacción de cada uno de los meses del año													
Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
%	24,54	18,8	15,9	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	18,8	100
GWh/Mes	5234,7	4003,0	3387,2	1933,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2771,3	4003,0	21333
GWh/dia	168,9	143,0	109,3	64,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,4	129,1	
Consumos horarios de un día tipo de cada mes (GWh)													
Horas del día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
8	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
9	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
10	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
11	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
12	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
13	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
14	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
15	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
16	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
17	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
18	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
19	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
20	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
21	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
22	10,6	8,9	6,8	4,0	0	0	0	0	0	0	5,8	8,1	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	168,9	143,0	109,3	64,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,4	129,1	
	5234,7	4003,0	3387,2	1933,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2771,3	4003,0	21333

3.1.4 Perfil horario de carga de las baterías

Tabla 48. Estimación de los consumos horarios para cargar baterías de los coches de un día tipo de cada mes (GWh).

Estimación de los consumos horarios para cargar baterías de los Coches de un día tipo de cada mes (GWh)													
Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
%	8,5	7,7	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	100
GWh/Mes	4115,2	3716,9	4115,2	3982,4	4115,2	3982,4	4115,2	4115,2	3982,4	4115,2	3982,4	4115,2	48453
GWh/día	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	
Consumos horarios de un día tipo de cada mes (GWh)													
Horas del día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año 2018
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Consumo 2018
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
8	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
9	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
10	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
11	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
12	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
13	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
14	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
15	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
16	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
17	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
18	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
19	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
20	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
21	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
22	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	132,7	
	4115,2	3716,9	4115,2	3982,4	4115,2	3982,4	4115,2	4115,2	3982,4	4115,2	3982,4	4115,2	48453

3.1.5 Perfil horario de la E. eléctrica para generar H₂

Tabla 49. Estimación de los consumos horarios para generar H₂ para: Camiones; Autobuses VL, de un día tipo de cada mes (GWh).

Estimación de los consumos horarios para generar H ₂ para: Camiones; Autobuses VL , de un día tipo de cada mes (GWh)													
Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	2018
%	8,5	7,7	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	8,5	8,2	8,5	8,2	8,5	100
GWh/Mes	8280,6	7479,3	8280,6	8013,5	8280,6	8013,5	8280,6	8280,6	8013,5	8280,6	8013,5	8280,6	97497
GWh/día	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	
Consumos horarios de un día tipo de cada mes (GWh)													
Horas del día	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año 2018
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
8	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
9	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
10	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
11	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
12	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
13	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
14	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
15	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
16	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
17	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
18	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
19	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
20	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
21	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
22	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	16,69	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
													Consumo 2018
	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	267,1	97497

3.1.6 Mapas sensibilidad ambiental

Los datos^[24] están agrupados en cinco categorías: Máxima - no recomendada, Muy alta, Alta, Moderada y Baja. Esto ha permitido una evaluación más clara de la sensibilidad ambiental y ha facilitado la identificación de áreas de mayor riesgo ambiental, lo que a su vez puede ser útil para la toma de decisiones en la gestión ambiental.

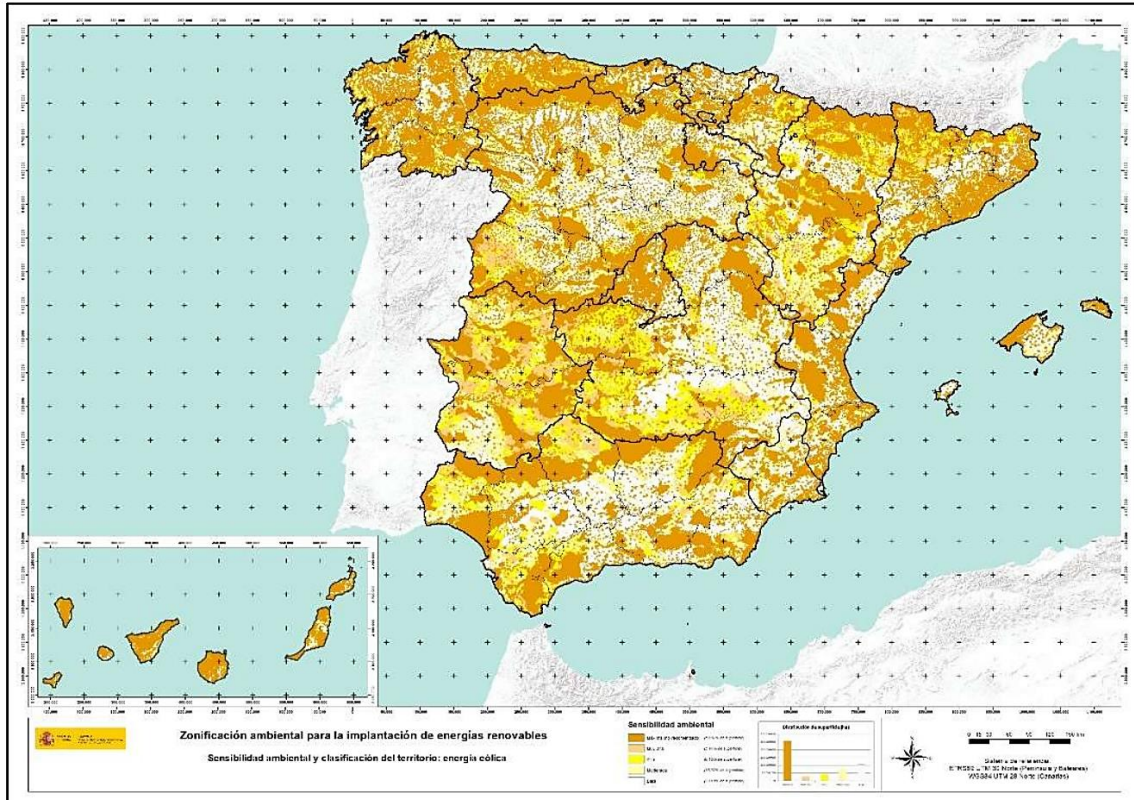


Figura 68. Mapa clasificado de la sensibilidad ambiental: Energía eólica.

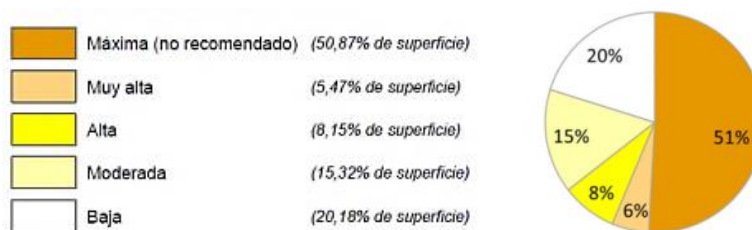


Figura 69. Resultados de la sensibilidad ambiental: Energía eólica.

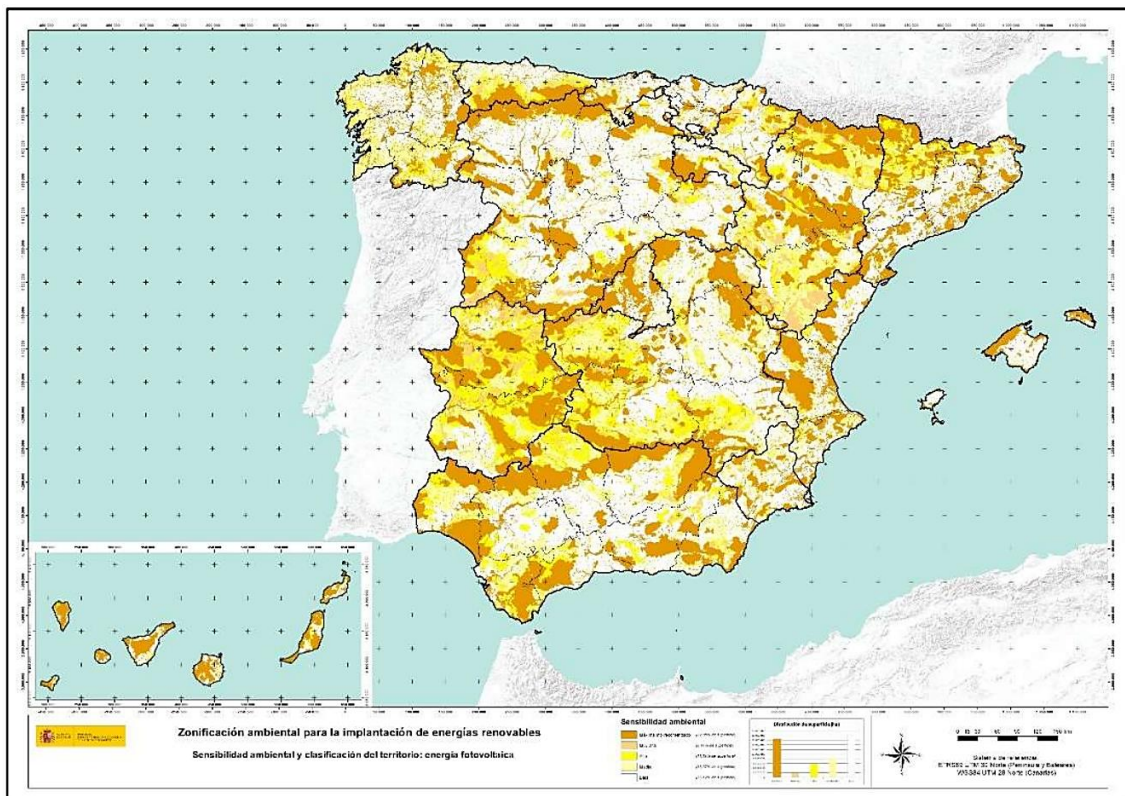


Figura 70. Mapa clasificado de la sensibilidad ambiental: Energía fotovoltaica.

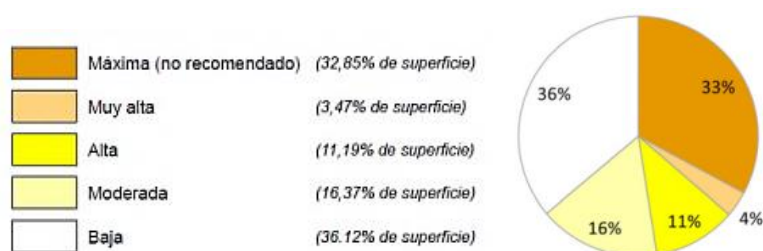


Figura 71: Resultados de la sensibilidad ambiental: Energía fotovoltaica.

Según los gráficos presentados, se puede observar que las zonas con sensibilidad ambiental máxima (no recomendada) representan un 51% en el caso de la energía eólica y un 33% en la energía solar fotovoltaica en España. Sin embargo, la evaluación de la implementación de estas instalaciones de energías renovables en España debería tener en cuenta otros factores como la viabilidad económica y la capacidad de construcción en áreas específicas. Por lo tanto, es necesario realizar un análisis detallado para determinar las zonas específicas de España donde la implementación de estas energías sería factible y rentable, teniendo en cuenta la sensibilidad ambiental y otros factores relevantes.

3.2 Cálculos

3.2.1 Consumos necesarios de E. eléctrica para sustituir las E. fósiles

3.2.1.1 Tablas de cálculos

Tabla 50. Balance de las fuentes de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía final en España en el año 2018.

Balance de las Fuentes de Energías Fósiles que cubrieron la demanda de Energía Final en España (año 2018)						
SECTOR	Carbon (Ktep/año)	Productos Petrolíferos (Ktep/año)	Gas Natural (Ktep/año)	Consumo final de E. Fósiles		
				Ktep/año	GWh/año	% del consumo de la E. fósiles final
Industria	1324	2977	8317	12617	146738	21,0
Transporte	0	35071	203	35274	410242	58,7
Carretera	0	26900	150	27051	314600	45,0
<i>Turismos : 53.57% [*]</i>	0	0	0	14443	167971	24,0
<i>Camiones y VL :40.5% [*]</i>	0	0	0	10977	127658	18,3
<i>Autobuses : 4.8% [*]</i>	0	0	0	1325	15414	2,2
<i>Motocicletas: 1.13 % [*]</i>	0	0	0	306	3557	0,5
Trenes impulsados por MCI	0	81	0	81	944	0,1
Marítimo interior	0	990	0	990	11517	1,6
Aviación interior	0	2250	0	2250	26166	3,7
Aviación internacional	0	4773	0	4773	55504	7,9
Oleoductos	0	0	53	53	614	0,1
Otros transporte no especificados	0	77	0	77	897	0,1
Usos diversos	215	6267	5751	12233	142266	20,3
Agricultura	0	1798	151	1949	22666	3,2
Pesca	0	289	0	289	3360	0,5
Comercio, Servicios y Admin. Públicas	0	1350	2831	4181	48630	7,0
Residencial	68	2793	2740	5602	65149	9,3
Otros usos diversos no especificados	146	36	29	212	2462	0,4
TOTAL	1538	44315	14271	60124	683012	100

[*] Según informe de IDAE, el consumo total de energías fósiles por carretera, los turismos consumen el 53.57%, los camiones y VL el 40.5%, los autobuses 4.8% y las motocicletas el 1.13%.

Esta tabla presenta el balance de las fuentes de energías fósiles que cubrieron la demanda de energía final en España en el año 2018. Se analizan tres tipos de energías fósiles: carbón, productos petrolíferos y gas natural. El consumo de estas energías se presenta en kilotones equivalentes de petróleo al año (ktep/año) y en gigavatios hora al año (GWh/año).

La tabla muestra que el consumo total de energía fósil en España en 2018 fue de 60.124 ktep/año o 683.012 GWh/año. El sector transporte representó la mayor parte del consumo de energía fósil con un 58.7% del total, seguido por la industria con un 21% y los usos diversos con un 20.3%.

En el sector transporte, se analizan subsectores como carretera (turismos, camiones y vehículos ligeros y autobuses). El transporte por carretera fue el principal consumidor de energía fósil, representando el 45% del consumo total de energía fósil. El turismo (coches) fue el subsector más relevante, con un 24% del consumo total de energía fósil, seguido por camiones y vehículos ligeros con un 18.3%.

Este TFM se limita a sustituir las E. que se utilizan en la actualidad para el transporte por carretera (Camiones, autobuses, VL, coches) y sustituir las calderas utilizadas para calefacción y ACS de los sectores: comercio, servicios, administraciones públicas y residencial.

El análisis en esta tabla refleja la dependencia de España en 2018 de las energías fósiles, especialmente en sectores clave como el transporte y la industria. Es importante tener en cuenta que estos datos son específicos para 2018 y podrían haber cambiado en los años posteriores debido a la adopción de políticas de energías renovables y tecnologías más limpias.

Tabla 51. Análisis del consumo de energía en España.

H2 requerido para sustituir las E. Fósiles que consumen los MCI (Camiones, Autobuses y VL) y, E. Eléctrica requerida para : Generar, comprimir y refrigerar el H2; Cargar la baterías de los Coches Eléctricos; alimentar la bombas de calor que suministran calefacción y ACS (Tabla 3 de Parte II)												
SECTOR	Hipotesis	Balance del consumo de E. fósil final por sectores		Sustitución de la E. fosil final (GWh/año)		Consumo de H2 y de E. electrica en las aplicaciones realizadas a traves del vector H2.				Consu. Total de E. Elec Para : Generar; Comprimir; Refrigerar H2 (GWh/año)	Consumo de E. Electrica para cargar baterías, calefaccion y ACS (GWh/año)	
		Ktep/año	GWh/año	A traves del Vector H2 verde	A traves de aplicaciones directas de E. electrica	H2 requerido para sustituir E. fosiles (GWh/año)	H2 requerido para sustituir E. fosiles (KgH2/año)	E. Eléctrica para generar H2 (GWh/año)	E. Eléctrica para Compri. H2 (GWh/año)			E. Eléctrica para Refrige. H2 (GWh/año)
Industria	<i>Sustituir las Energias Fosiles por H2 Verde. [4]</i>	12617	146738	146738	0	146738	4403	215791	0	0	215791	0
Transporte	.....	35274	410242	238100	167971	136907	4107627284	201334	5545	4272	211151	50833
Carretera	....	27051	314600	143072	167971	82266	2468233091	120980	3332	2567	126879	50833
Turismos : 53.4% [*]	<i>Sustituir coches con MCI por coches electricos [1]</i>	<i>14443</i>	<i>167971</i>	<i>0</i>	<i>167971</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>50833</i>
Camiones y VL :40.5% [*]	<i>Sustituir los MCI, por pilas de H2. [2]</i>	<i>10977</i>	<i>127658</i>	<i>127658</i>	<i>0</i>	<i>73403</i>	<i>2202318476</i>	<i>107946</i>	<i>2973</i>	<i>2290</i>	<i>113210</i>	<i>0</i>
Autobuses : 4.8% [*]	<i>Sustituir los MCI por pilas de H2 [2]</i>	<i>1325</i>	<i>15414</i>	<i>15414</i>	<i>0</i>	<i>8863</i>	<i>265914615</i>	<i>13034</i>	<i>359</i>	<i>277</i>	<i>13669</i>	<i>0</i>
Motocicletas: 1.13 % [*]	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	306	3557	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trenes impulsados MCI	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	81	944	944	0	543	16278961	798	22	17	837	0
Marítimo interior	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	990	11517	11517	0	6622	198690557	9739	268	207	10214	0
Aviación interior	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	2250	26166	26166	0	15045	451408034	22126	609	469	23204	0
Aviación internacional	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	4773	55504	55504	0	31915	957543234	46934	1293	996	49222	0
Oleoductos	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	53	614	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros transporte no especificados	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	77	897	897	0	516	15473406	758	21	16	795	0
Usos diversos	.....	12233	142266	26025	113779	14964	448979754	660	606	467	1733	32508
Agricultura	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	1949	22666	22666	0	13033	391020020	575	528	407	1510	0
Pesca	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	289	3360	3360	0	1932	57959734	85	78	60	224	0
Comercio, Servicios y Admin. Públicas	<i>Sustituimos las Calderas de Calefacción y ACS, por Bombas de Calor [3].</i>	<i>4181</i>	<i>48630</i>	<i>0</i>	<i>48630</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>13894</i>
Residencial	<i>Sustituimos las Calderas de Calefacción y ACS, por Bombas de Calor [3].</i>	<i>5602</i>	<i>65149</i>	<i>0</i>	<i>65149</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>18614</i>
Otros usos diversos no especificados	<i>Queda fuera del alcance de este estudio</i>	212	2462	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	Cosu. Total (GWh/año)	60124	699246	410862	281750	298609	4556611440	417785	6151	4739	428675	83342

[1] Asumimos que todos los coches con MCI son sustituidos por coches eléctricos.

[2] Asumimos que todos camiones, autobuses y VL, son sustituidos por otros impulsados por pilas de H₂.

[3] Asumimos que todas las caderas utilizadas para calefacción y ACS son sustituidas por equipos de Aerotermia.

[4] Asumimos que todos los coches con MCI son sustituidos por coches eléctricos.

La tabla proporciona datos sobre el consumo de energía y las diferentes formas de sustitución en varios sectores. Sin tener en cuenta los valores que quedan fuera del alcance del estudio, podemos extraer algunas conclusiones interesantes.

En el sector del transporte, se plantea la sustitución de los vehículos de MCI por BEV y por vehículos que utilizan pilas de hidrógeno (H₂). Se estima que esta transición requeriría una gran cantidad de energía eléctrica. En este caso para cargar las baterías de los vehículos eléctricos se necesitarán 50833 GWh/año. Por otro lado, para generar, comprimir y refrigerar el hidrógeno utilizado en los vehículos de pila de hidrógeno se necesitarán 113210 GWh/año para los camiones y VL y 13669 GWh/año para los autobuses. En particular, se destaca la sustitución de los camiones, autobuses y vehículos ligeros (VL) con pilas de hidrógeno. Esta elección se basa en el tamaño de las baterías, ya que los vehículos más grandes requieren una mayor capacidad de almacenamiento de energía.

El sector de la industria queda fuera del alcance de este estudio. Por lo tanto, no se ofrecen datos concretos sobre las sustituciones propuestas en este sector.

En los sectores de comercio, servicios y administración pública, así como en el sector residencial, se plantea la sustitución de las calderas de calefacción y agua caliente sanitaria por bombas de calor. Esta medida busca reducir el consumo de energía fósil final en estos sectores y promover el uso de fuentes de energía más sostenibles.

En resumen, los resultados presentados en la tabla muestran las necesidades de consumo de hidrógeno y energía eléctrica en diferentes sectores para sustituir el uso de combustibles fósiles. Estas cifras ilustran los desafíos y las implicaciones energéticas que conlleva la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles en nuestra sociedad.

3.2.1.2 Consumos necesarios de E. eléctrica para sustituir la E. fósil

En este apartado, se presentan y explican las fórmulas utilizadas para calcular la energía eléctrica necesaria para sustituir la energía fósil en diversos ámbitos, como vehículos eléctricos, calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), y vehículos de hidrógeno.

Fórmula A.2.1: Energía eléctrica para sustituir la energía fósil en vehículos eléctricos de transporte (VE):

$$E. fósil \left(\frac{GWh}{año} \right) * \frac{TWE(MCI)}{TWE(VE)*Re.cb} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (A.2.1)$$

Esta fórmula se utiliza para calcular la energía eléctrica necesaria para sustituir la energía fósil utilizada por los vehículos eléctricos de transporte. TWE se refiere a la eficiencia del tanque a la rueda del vehículo eléctrico, mientras que Re. cb es el rendimiento del cargador de baterías.

Fórmula A.2.2: Energía eléctrica para sustituir la energía fósil en calefacción y ACS:

$$\frac{E.fósil (GWh/año)}{SCOP} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (A.2.2)$$

Se utiliza la relación entre la energía fósil consumida y el Coeficiente de Rendimiento Estacional (SCOP) para calcular la cantidad de energía eléctrica en GWh/año que se necesita para reemplazar la energía fósil en calefacción y ACS.

Fórmula A.2.3: Hidrógeno necesario para sustituir la energía fósil en vehículos de transporte con pilas de combustible de hidrógeno (P.H₂):

$$E. fósil (GWh/año) * \frac{TWE (MCI)}{TWE(P.H_2)} = (GWh/año) de H_2 \quad (A.2.3)$$

Esta fórmula emplea la eficiencia del tanque a la rueda (TWE) de los vehículos de transporte y la eficiencia de los vehículos de hidrógeno (TWE P.H₂) para calcular la cantidad de hidrógeno necesario en GWh/año.

Fórmula A.2.4: Cantidad de hidrógeno en kilogramos necesaria para sustituir la energía fósil en vehículos de transporte:

$$(GWh) de H_2 * \frac{1000000}{33.33} = (Kg/año) de H_2 \quad (A.2.4)$$

Se convierte la cantidad de hidrógeno en GWh a kilogramos para su uso en vehículos de transporte.

Fórmula A.2.5: Energía eléctrica necesaria para generar hidrógeno:

$$\frac{(GWh/año) de H_2}{Re.Elec.} = (GWh/año) de E. Eléctrica \quad (A.2.5)$$

Se calcula la energía eléctrica en GWh/año necesaria para generar hidrógeno utilizando un electrolizador, tomando en cuenta el rendimiento del electrolizador (Re.Elec.).

Fórmula A.2.6: Energía eléctrica necesaria para comprimir hidrógeno:

$$\left(\frac{kg}{año}\right) de H_2 * \frac{\left(\frac{kWh}{año} de E. E. para comprimir 1 Kg de H_2\right)}{1000000} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (A.2.6)$$

Se determina la cantidad de energía eléctrica en GWh/año necesario para comprimir el hidrógeno a la presión adecuada para su uso en vehículos de transporte, como camiones, autobuses y barcos. Se calcula multiplicando la cantidad de hidrógeno comprimido en kg por la cantidad de energía eléctrica necesaria para comprimir 1 kg de hidrógeno (medida en kWh/año) y dividiendo el resultado por un millón para obtener la unidad en GWh/año.

Fórmula A.2.7: Energía eléctrica necesaria para refrigerar hidrógeno:

$$(kg) de H_2 * \frac{(kWh.de E.E. para refrigerar 1 Kg de H_2)}{1000000} = (GWh/año) de E. eléctrica \quad (A.2.7)$$

Se calcula la cantidad de energía eléctrica en GWh/año necesario para enfriar el hidrógeno a la temperatura adecuada para su uso en vehículos de transporte. El cálculo se realiza multiplicando la cantidad de hidrógeno (en kg) por la cantidad de energía eléctrica necesaria para refrigerar 1 kg de hidrógeno (en kWh) y dividiendo el resultado entre 1 millón. Esto nos da la cantidad de energía eléctrica necesaria en GWh/año.

Fórmula de consumo total de energía eléctrica:

Consumo total de E. Eléctrica (GWh/año) para sustituir las E. fósiles consumidos por: camiones; autobuses y VL = E+F+G.

Esta fórmula se utiliza para calcular el consumo total de energía eléctrica necesario para sustituir las emisiones de combustibles fósiles utilizadas por camiones, autobuses y vehículos ligeros. La fórmula incluye tres variables: E, F y G, que representan el consumo de energía eléctrica de los vehículos eléctricos (VE), la energía necesaria para la calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) y la energía necesaria para la producción de hidrógeno para su uso en vehículos de pila de combustible. Los valores de estas variables se calculan utilizando las fórmulas anteriores y se suman para obtener el consumo total de energía eléctrica necesario para la sustitución de combustibles fósiles.

