



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

TITULO

ESTUDIO DEL SECTOR ENERGÉTICO EN ESPAÑA
Y
DISEÑO DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA PARA EL
AUTOCONSUMO DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

Autor:

Arnáiz Yagüe, Máximo Alejandro.

Tutor:

Pisano Alonso, Jesús Ángel.

Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Valladolid, Julio 2020



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Resumen.

El sector energético español se encuentra desde hace varios años en una profunda crisis, problemas como el grado de dependencia energética, la descompensación entre la producción y el consumo de energía y la alta intensidad energética lastran el desarrollo social y económico del país, es por ello que se presenta la necesidad de reinventar el sector con el objetivo de desarrollar un modelo económico sostenible y comprometido con el medioambiente.

La explotación de la energía solar a modo de autoconsumo se presenta como una de las soluciones a todos estos problemas. Este modelo de autoconsumo provocaría una revolución en el sector energético español, disminuyendo la dependencia del extranjero y aumentando la producción de energía nacional.

Es por ello que en este trabajo se ha ilustrado mediante un software de simulación, el ahorro energético que podría suponer una instalación de autoconsumo fotovoltaico en una planta industrial de alto consumo.

Palabras clave: Energía, Electricidad, Autoconsumo fotovoltaico, Simulink, Ahorro energético.

Abstract.

The Spanish energy sector has been in a deep crisis for several years; problems such as the degree of energy dependence, decompensation between energy production and consumption, and high energy intensity are problems that hinder the country's social and economic development. For this reason, it is necessary to reinvent the sector in order to develop a sustainable economic model committed to environment.

The exploitation of solar energy through self-consumption is exposed as one of the solutions to the above-mentioned problems. The use of this inexhaustible resource for self-consumption would potentially provoke a revolution in the Spanish energy sector by reducing dependence on foreign suppliers and increasing national energy production.

Hence, this project, by means of simulation software, has illustrated the energy savings that a photovoltaic self-consumption installation in a high-consumption industrial plant could entail.

Keywords: Energy, Power, Photovoltaic self-consumption, Simulink, Energy saving.





Índice.

Introducción y objetivos.	15
Introducción.....	15
Objetivos.....	17
Capítulo 1: Análisis de la situación energética española.....	19
1.1 Grado de dependencia energética.....	19
1.2 Producción energética en España.....	23
1.3 Consumo energético en España.....	27
1.4 Comparación producción-consumo de energía.	29
1.5 Intensidad energética.....	32
Capítulo 2: Energías renovables y autoconsumo.	39
2.1 Energías renovables.	39
2.1.1 Tipos de energías renovables.....	39
2.1.2 Fiscalidad de las energías renovables.	42
2.2 Autoconsumo eléctrico.	49
2.2.1 Ventajas del autoconsumo fotovoltaico.	51
2.2.2 Desventajas del autoconsumo fotovoltaico.	63
2.3 Normativa, procesos administrativos y requisitos técnicos.....	69
2.3.1 Tipos de autoconsumo	69
2.3.2 Procedimiento de conexión, acceso, suministro y mecanismos de compensación en las modalidades de autoconsumo.....	71
2.3.3 Requisitos técnicos.....	73
2.3.4 Proyecto de instalación.....	77



Capítulo 3: Autoconsumo de una industria mediante una instalación
fotovoltaica.....79

3.1 Funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.....79

3.2 Diseño y desarrollo de la instalación de autoconsumo.....84

3.2.1 Selección del panel fotovoltaico..... 84

3.2.2 Desarrollo del modelo Simulink..... 85

3.2.3 Simulación para la planta industrial de Recuperaciones Íscar..... 98

Conclusiones..... 115

Agradecimientos..... 117

Bibliografía..... 119



Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Dependencia energética de España frente a la Unión Europea. Elaboración propia.....	19
Ilustración 2. Evolución de la dependencia energética. Extraído de: Técnica Industrial.....	20
Ilustración 3. Porcentajes de dependencia energética media de los diferentes sectores (2009-2013). Extraído de: Técnica Industrial.....	21
Ilustración 4. Grado de autoabastecimiento (%). Extraído de: Técnica Industrial. ..	21
Ilustración 5. Dependencia energética por tipo de industria (2008-2013). Extraído de: Técnica Industrial.....	22
Ilustración 6. Dependencia energética por tipo de transporte (2008-2013). Extraído de: Técnica Industrial.....	22
Ilustración 7. Origen del carbón consumido en España. Elaboración propia.	24
Ilustración 8. Yacimientos de carbón a partir de 2019. Extraído de El País.	25
Ilustración 9. Millones de toneladas de CO2 equivalente emitidas en 2017. Extraído de El País.....	25
Ilustración 10. Porcentaje de cobertura de las energías renovables en España (2001-2010). Elaboración propia.....	26
Ilustración 11. Porcentaje de cobertura de las energías renovables en España (2011-2018). Elaboración propia.....	27
Ilustración 12. Aportación al consumo energético español (1970-2012). Elaboración propia.	27
Ilustración 13. Evolución del consumo de energía primaria en España (1990-2018). Elaboración propia.....	28



Ilustración 14. Producción energética vs consumo energético (2010-2017). Elaboración propia.....	31
Ilustración 15. Comparativa de la intensidad energética en el sector del transporte (2000-2017). Extraído de IDAE.	35
Ilustración 16. Comparativa de la intensidad energética en el sector de la industria (2000-2017). Extraído de IDAE.	35
Ilustración 17. Comparativa de la intensidad energética en el sector servicios (2000-2017). Extraído de IDAE.	36
Ilustración 18. Comparativa de la intensidad en el sector residencial (2000-2017). Extraído de IDAE.....	36
Ilustración 19. Comparación global de la intensidad energética en Europa. Extraído de IDAE.....	37
Ilustración 20. Estimación de la potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico. Extraído de UNEF.	48
Ilustración 21. Horas de sol en el territorio español. Extraído del Instituto Geográfico Nacional.	53
Ilustración 22. Evolución del precio del panel fotovoltaico (2010-2018). Extraído de Hogarsense.....	54
Ilustración 23. Cadena de valor del mercado eléctrico. Elaboración propia.	58
Ilustración 24. Cadena de valor del mercado eléctrico antes de su liberalización en 1997. Elaboración propia.....	59
Ilustración 25. Curva de oferta eléctrica. Extraído de Plataforma SomeEnergía,	60
Ilustración 26. Curva de demanda eléctrica. Extraído de Plataforma SomeEnergía.	61
Ilustración 27. Energía casa y precio marginal de la electricidad. Plataforma SomeEnergía.....	61

Ilustración 28. LCOE Fotovoltaico. Extraído de la Fundación para la Eficiencia Energética y Medio Ambiente.	67
Ilustración 29. Reciclabilidad de los componentes de un panel fotovoltaico. Extraído de Cambio Energético.....	68
Ilustración 30. Plazos para la adquisición de contratos de acceso. Elaboración propia.	72
Ilustración 31. Esquema eléctrico de autoconsumo con contador en el punto de frontera bidireccional. Extraído de Sunfields.....	74
Ilustración 32. Esquema eléctrico de autoconsumo con contador de generación. Extraído de Sunfields.	74
Ilustración 33. Esquema eléctrico de autoconsumo sin excedente. Extraído de Sunfields.	75
Ilustración 34. Condiciones para la instalación de paneles en cubiertas planas. Extraído de la Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.....	76
Ilustración 35. Estado natural del átomo de silicio. Extraído de La generación del sol.....	80
Ilustración 36. Semiconductor tipo N a partir de silicio y fósforo. Extraído de La generación del sol.....	80
Ilustración 37. Semiconductor tipo P a partir de silicio y boro. Extraído de La generación del sol.....	81
Ilustración 38. Migración de electrones en la unión P-N. Extraído de La generación del sol.....	81
Ilustración 39. Intensidad de corriente de un diodo. Extraído de la Universidad de Antioquía.....	82
Ilustración 40. Esquema panel solar. Extraído de Energías renovables y limpias...	83



Ilustración 41. Ficha técnica del Panel Solar 200W 24V. Extraído de Autosolar. ...	84
Ilustración 42. Corriente fotoeléctrica en modelo Simulink. Elaboración propia.....	87
Ilustración 43. Corriente a través de la resistencia en paralelo en modelo Simulink. Elaboración propia.....	87
Ilustración 44. Corriente de saturación inversa en modelo Simulink. Elaboración propia.	88
Ilustración 45. Corriente de saturación en modelo Simulink. Elaboración propia...	88
Ilustración 46. Modelo completo Simulink. Elaboración propia.....	89
Ilustración 47. Modelo simplificado Simulink. Elaboración propia.	90
Ilustración 48. Parámetros y constantes en el modelo Simulink. Elaboración propia.	91
Ilustración 49. Gráfico P-V en condiciones estándar. Elaboración propia.	92
Ilustración 50. Gráfico I-V en condiciones estándar. Elaboración propia.....	92
Ilustración 51. Resultados de la simulación para irradiación variables (I-V). Elaboración propia.....	94
Ilustración 52. Resultados de la simulación para irradiación variables (P-V). Elaboración propia.....	94
Ilustración 53. Relación potencia-irradiación. Elaboración propia.....	95
Ilustración 54. Resultados de la simulación para temperatura variable (I-V). Elaboración propia.....	96
Ilustración 55. Resultados de la simulación para temperatura variable (P-V). Elaboración propia.....	96
Ilustración 56. Relación potencia-temperatura. Elaboración propia.	97



Ilustración 58. Factor de horas pico. Extraído de CalculationSolar Blog.	100
Ilustración 59. Relación irradiancia solar y horas sol pico. Extraído de PVEducacion.	105
Ilustración 60. Evolución del factor HSP a lo largo de un año. Elaboración propia.	106
Ilustración 61. Evolución de los parámetros de entrada del modelo Simulink durante un año. Elaboración propia.	107
Ilustración 62. Resultado de las simulaciones primer semestre de 2019. Elaboración propia.....	109
Ilustración 63. Resultado de las simulaciones segundo semestre de 2019. Elaboración propia.....	110
Ilustración 64. Resumen consumo-ahorro para 2019. Elaboración propia.	113

Índice de tablas.

Tabla 1. Origen del carbón consumido en España. Elaboración propia.	24
Tabla 2. Producción energética en España (2010-2017). Elaboración propia.	30
Tabla 3. Consumo energético en España (2010-2017). Elaboración propia.	30
Tabla 4. Objetivos globales nacionales para la cuota de energía obtenida de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en cifras de 2005 y 2020. Extraído del Plan de Acción Nacional para las Energías Renovables.	43
Tabla 5. Objetivos globales nacionales para la cuota de energía obtenida de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en cifras de 2005 y 2020. Extraído del Plan de Acción Nacional para las Energías Renovables 2011-2020.....	46
Tabla 6. Comparativa entre la cobertura energética de las energías renovables en España y la previsión aportada por el PANER. Elaboración propia.	46
Tabla 7. Ventajas del autoconsumo fotovoltaico. Elaboración propia.	51
Tabla 8. Horas de sol en la provincia de Valladolid. Elaboración propia.	54
Tabla 9. Desventajas del autoconsumo. Elaboración propia.	63
Tabla 10. Restricciones de superficie para la construcción de instalaciones de autoconsumo fotovoltaico. Extraído de la Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.	75
Tabla 11. Constantes utilizadas en el modelo Simulink. Elaboración propia.	86
Tabla 12. Parámetros dependientes de la instalación utilizados en el modelo Simulink. Elaboración propia.	86
Tabla 13. Variables de entrada utilizadas en el modelo Simulink. Elaboración propia.	86



Tabla 14. Comparación entre la ficha técnica y el modelo Simulink. Elaboración propia.....	93
Tabla 15. Resultados para la simulación 1. Elaboración propia.....	95
Tabla 16. Resultados para la simulación 2. Elaboración propia.....	97
Tabla 17. Obtención de la temperatura de trabajo. Elaboración propia.....	99
Tabla 18. Declinación para cada mes del año	101
Tabla 19. Inclinación media optima.	102
Tabla 20. Radiación global horizontal. Extraído de ADRASE.....	103
Tabla 21. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo. Elaboración propia.....	104
Tabla 22. Factor de irradiación. Elaboración propia.	105
Tabla 23. Horas pico día. Elaboración propia.....	106
Tabla 24. Parámetros de entrada modelo Simulink. Elaboración propia	107
Tabla 25. Parámetros de trabajo para las simulaciones en el modelo Simulink. Elaboración propia.....	108
Tabla 26. Producción por un único modulo para cada mes de 2019. Elaboración propia.....	111
Tabla 27. Número de placas necesarias para cubrir el objetivo de consumo por mes. Elaboración propia	112
Tabla 28. Resumen de los resultados de consumo-ahorro para todo el año 2019. Elaboración propia.....	113



Índice de ecuaciones.

Ecuación 1. Intensidad energética. Extraído de Economipedia.....	33
Ecuación 2. Intensidad de corriente a traves de un diodo.....	82
Ecuación 3. Corriente a través de una placa fotovoltaica.....	83
Ecuación 4. Corriente fotoeléctrica.	85
Ecuación 5. Corriente a través de la resistencia de shunt.....	85
Ecuación 6. Corriente de saturación inversa.....	85
Ecuación 7. Corriente de saturación.	85
Ecuación 8. Potencia.	90
Ecuación 9. Declinación solar.....	101
Ecuación 10. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo	103
Ecuación 11. Factor de irradiancia.....	104

Introducción y objetivos.

Introducción.

Tal y como destaca Juan Ramon Capella en su artículo *“La energía, problema central de la economía española”* publicado en el blog Mientras Tanto, los intereses creados por las grandes compañías eléctricas españolas tratan de ocultar que uno de los problemas centrales de la economía española es su déficit energético. España es un país dependiente de las importaciones de petróleo.

Este problema está completamente ocultado y mitigado por los intereses que las grandes compañías eléctricas tienen en la continuidad del presente modelo energético español, pese a la irrupción de ciertas energías renovables, como la solar, que ofrecen la posibilidad de un modelo no tan centralizado como el actual, presentando la posibilidad de evolucionar a un modelo energético descentralizado al menos parcialmente, que permita abaratar el coste de la energía.

Revisando los datos aportados por José María García Alonso en su artículo *“Dependencia y vulnerabilidades energéticas”* el balance energético en España presenta un grado de dependencia del 70% de media en los últimos años, 20 puntos porcentuales superior al de la Unión Europea. Pero, tal y como se destaca este artículo lo más preocupante de la situación española no son las cifras de dependencia energética como tal sino su tendencia no descendente en los últimos años, lo que pone en el centro de la mira a las energías renovables, las cuales se establecen como la única opción para aumentar el autoabastecimiento energético en España.

Si nos centramos en el sector eléctrico tal y como ilustra el blog energético APPA Renovables en su informe *“Renovables en España”* al comienzo del siglo XXI España fue considerada un referente en la integración de renovables en el sistema eléctrico. Por ello, a pesar del parón de los últimos años, más del 37% de nuestra electricidad fue renovable en 2018. Ciertamente es, que estas cifras han de considerarse positivas, pero tras la crisis económica mundial, la integración de este tipo de energía se vio frustrada, por lo que en España los productos petrolíferos y el gas natural siguen siendo la principal fuente de producción eléctrica.

El origen de estos recursos, el cual es prácticamente en su totalidad extranjero, provoca un encarecimiento de la electricidad y replantea la necesidad del aprovechamiento de los recursos energéticos autóctonos, entre los que predominan los recursos renovables.

En el *“Estudio del impacto macroeconómico de las energías renovables en España (2018)”* de APPA Renovables podemos ver como gracias al uso de estas fuentes de energía, tanto para la producción de electricidad, como la energía térmica renovable

y el uso de biocarburantes, el Sector de las Energías Renovables evitó en 2018 la importación de 20.732.240 toneladas equivalentes de petróleo (tep) de combustibles fósiles, que generó un ahorro económico equivalente de 8.547 millones de euros.

De tal manera que cuando sustituimos electricidad producida con gas natural, carbón y fuel/gas por energía eléctrica de origen renovable, reducimos nuestra dependencia energética del exterior y generamos un importante ahorro al evitar la importación de estos combustibles fósiles. En el año 2018, la generación eléctrica con energías renovable sustituyó un total de 71.432 GWh en la producción eléctrica, lo que supuso el ahorro de 2.466 millones de euros.

Si estos datos los extrapolamos a la sustitución total del gas natural y los productos petrolíferos, lo que supondría una revolución total al sector eléctrico y energético español digno de estudiar, las cifras de ahorro se dispararían, abaratando la energía y facilitando el desarrollo económico e industrial del país.

Por tanto, las claves del ahorro energético se pueden resumir en dos líneas de trabajo: escapar de los intereses de las grandes compañías eléctricas en España y el uso de las energías renovables, existe un punto de unión entre estas dos líneas, el autoconsumo eléctrico mediante fuentes renovables.

Por cuestiones técnicas como puede ser la relación espacio ocupado-producción o la inversión inicial necesaria el autoconsumo fotovoltaico se establece como la opción más viable e interesante para dar el salto a la transición energética.

En la entrevista realizada a Piet Holtrop en el Periódico de la Energía, abogado internacional con más de 23 años de experiencia, que lleva 20 años asesorando en el ámbito de las energías renovables en España. la fiscalidad en términos de autoconsumo ha avanzado mucho en los últimos años en España permitiendo modalidades como pueden ser el autoconsumo remoto, donde no es necesario que la instalación se encuentre en la misma infraestructura donde la energía va a ser consumida o la abolición del llamado “impuesto al sol” que dificultaba la construcción de instalaciones de estas características.

En el ámbito industrial el consumo eléctrico es muy elevado, es por ello que esta opción resulta muy interesante, ya que con una inversión muy pequeña una empresa podría rebajar su factura de electricidad en una cantidad muy importante. Además, la construcción de este tipo de instalaciones sobre infraestructuras industriales permite ahorrar hasta el 25% en el IBI y de hasta el 90% en el ICIO.

Objetivos.

Este trabajo tiene tres objetivos fundamentales:

1- Ilustrar la crisis del sector energético en España.

Para ello se han establecido tres líneas de trabajo que pretenden presentar soluciones para los tres principales problemas del sector energético español que son:

- Grado de dependencia energética: partiendo desde el análisis de las importaciones de energía con respecto al total de energía consumida en España, se analizarán los resultados con el objetivo de conocer como reducir la dependencia energética del extranjero.
- Descompensación entre producción y consumo energético: se analizarán las diferencias entre el origen de la energía consumida y producida en España, con el objetivo de conocer el objetivo del problema y proponer las soluciones necesarias.
- Alta intensidad energética: un alto valor de intensidad energética implica que la economía del país en cuestión necesita consumir muchos recursos energéticos para producir una cantidad de riqueza muy baja, esto es lo que ocurre en España, por lo que se estudiarán los motivos que explican este valor y como repercute al país.

2- Conocer la situación de las energías renovables y del autoconsumo fotovoltaico en España.

Se analizarán las diferentes iniciativas tanto europeas como nacionales en materia renovables y de autoconsumo, así como la fiscalidad española en este ámbito.

También se analizarán los trámites administrativos necesarios para llevar a cabo dichas instalaciones. Por último, se estudiará si todas estas condiciones son favorables para el desarrollo del autoconsumo fotovoltaico en España.

3- Demostrar y cuantificar el ahorro energético que supondría una instalación de autoconsumo fotovoltaico en una planta industrial de alto consumo.

Partiendo de los datos de consumo de la planta industrial de Recuperaciones Iscar, una industria de gestión de residuos en la provincia de Valladolid y un software de simulación elaborado, el cual permite conocer la producción eléctrica de una instalación de autoconsumo fotovoltaico, se tratarán de conocer cuales han de ser las características de una instalación solar de autoconsumo que permita cubrir el 30% de la demanda anual de electricidad de dicha planta industrial. Esto permitirá conocer si el autoconsumo fotovoltaico es realmente viable.



Capítulo 1: Análisis de la situación energética española.

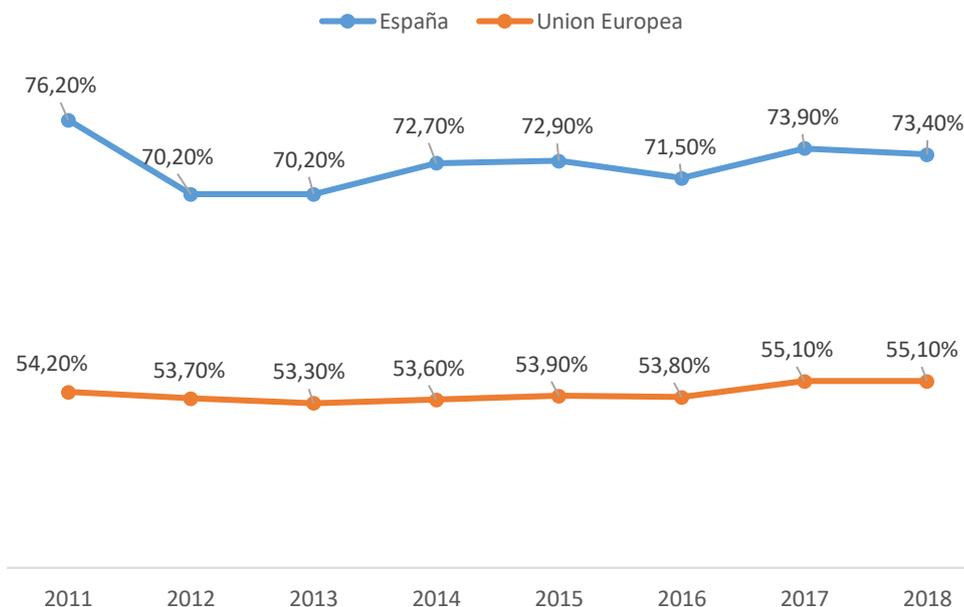
Para resaltar la importancia y la necesidad de las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico en España he realizado un breve análisis de la situación actual del sector energético basándome en diferentes aspectos e indicadores que a continuación desarrollaré, con el objetivo de detectar los principales problemas que este sector presenta.

1.1 Grado de dependencia energética.

La dependencia energética no es más que el análisis de las importaciones de energía respecto al total de las energías consumidas.

España es un país cuyo grado de dependencia energética es muy elevado, esto provoca que cualquier tipo de actividad que se lleve a cabo en su territorio esté muy expuesta a los acontecimientos que ocurran en el extranjero.

Según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo el grado de dependencia energética en 2015 llegó a alcanzar valores del 73% lo que supuso un coste de 26.000 millones de euros, este coste lastra todo el tejido empresarial energético español.



*Ilustración 1. Dependencia energética de España frente a la Unión Europea.
Elaboración propia.*

Como podemos observar en el gráfico realizado con datos extraídos de APPA Renovables la media de la Unión Europea permanece entorno a valores del 55%, es decir, España se sitúa más de 20 puntos por encima de la media, este hecho presenta una influencia muy negativa en nuestra balanza de pagos con el exterior y, por tanto, un desequilibrio en nuestra capacidad de endeudamiento, en el riesgo del país (prima de riesgo) y, por supuesto, un alto coste económico para financiar esas importaciones.

En el estudio realizado por José Antonio Galdón Ruiz, Bernabé Marí Soucause e Inmaculada Guaita Pradas “*La dependencia energética en España por sectores y su impacto económico*” en julio de 2016 para la revista “*Técnica Industrial*” se analiza la evolución del grado de dependencia energética junto con otro valor significativo, la evolución del consumo de energía procedente de combustibles fósiles.

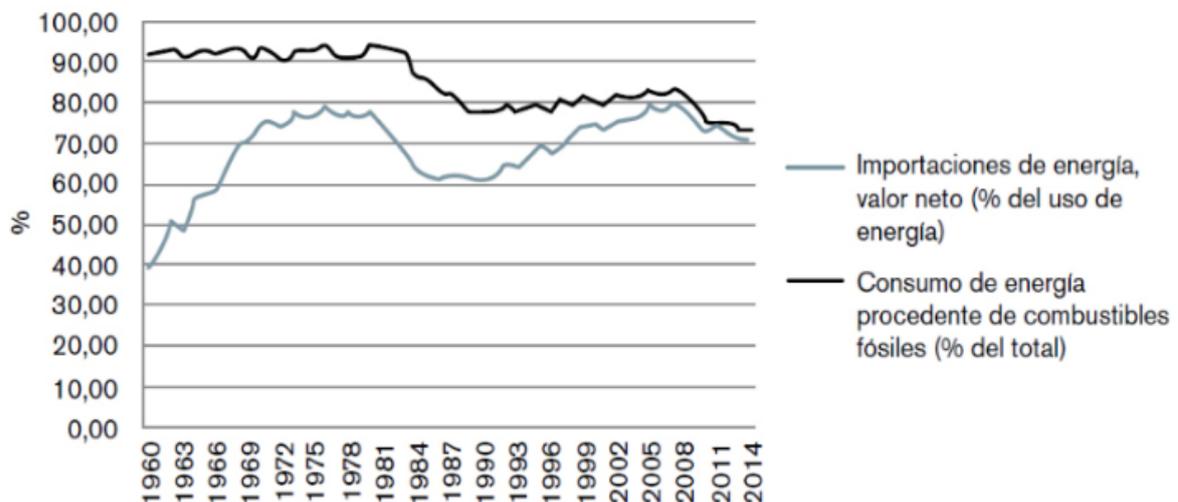


Ilustración 2. Evolución de la dependencia energética. Extraído de: *Técnica Industrial*.

En el consumo de combustibles fósiles existen dos hechos muy significativos que provocan la bajada del 92% original al 73% en el 2014: en primer lugar, la apertura de las centrales nucleares en España en la década de los 80 que sustituyeron el 10% del consumo de combustibles fósiles y en segundo lugar la incorporación de las energías renovables en el sistema español, reduciendo el consumo de energía procedente de combustibles fósiles a un 73% del total.

Respecto a la dependencia energética en términos globales existe un rápido ascenso de 1960 hasta 1980 por la sustitución del carbón autóctono español por combustibles fósiles importados que se ve interrumpida por la inclusión de las nucleares. Posteriormente el crecimiento de la actividad económica del país y por consiguiente de sus necesidades energéticas provocó otra importante subida ininterrumpida hasta el año 2007 por la inclusión de las energías renovables en el sistema energético español.

Como podemos observar el aumento en el consumo de combustibles fósiles para la producción energética implica directamente la subida de la dependencia energética en España, al igual que la inclusión de las energías renovables supone una importante bajada. Esto se debe a que prácticamente la totalidad de la energía fósil (petróleo y gas) que se consume, es importada, al contrario que la energía proveniente de fuentes renovables que se puede considerar autóctona en su totalidad, como queda reflejado en la siguiente ilustración.

Grado de autoabastecimiento (%)						
Fuente de energía	2009	2010	2011	2012	2013	Media (2009-2013)
Carbones	40,40%	46,06%	20,84%	16,42%	16,73%	28,09%
Productos petrolíferos	0,17%	0,20%	0,18%	0,27%	0,71%	0,31%
Gases	0,04%	0,14%	0,16%	0,18%	0,19%	0,14%
Energías renovables (solar, térmica, geotermia, biomasa, biogás, biocarburantes)	97,14%	89,84%	88,09%	82,89%	100,00%	91,59%

Ilustración 4. Grado de autoabastecimiento (%). Extraído de: Técnica Industrial.

La dependencia energética se traslada de manera directa a la actividad económica del país afectando de la siguiente manera a los tres grandes sectores de la economía española, para los años 2009-2013.

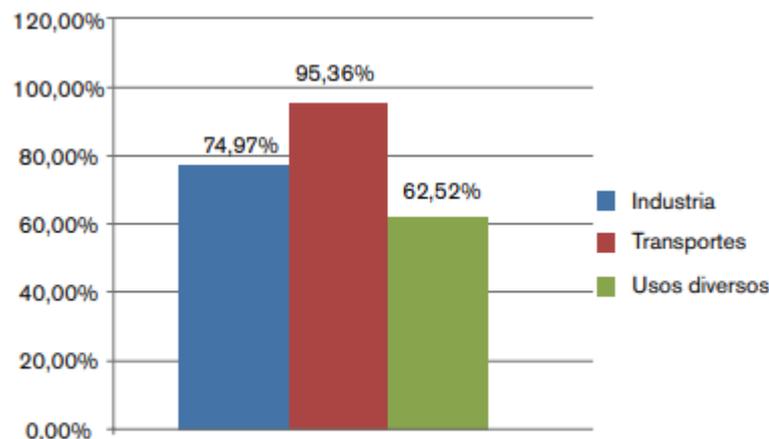


Ilustración 3. Porcentajes de dependencia energética media de los diferentes sectores (2009-2013). Extraído de: Técnica Industrial.

A continuación, voy a realizar un breve análisis de cada sector para comprender el porqué de estos datos.

El 60% de la energía consumida en el sector industrial proviene de combustibles fósiles como son: el gas (40%) y petróleo (20%). Lo que eleva a prácticamente un 75% de la dependencia energética media del sector. Los combustibles tienen gran importancia en el ámbito industrial debido a que su alto poder calorífico los convierte en una importante fuente de energía útil para generar energía térmica.

El dato de la dependencia energética media del sector industrial en España se ha obtenido analizando el origen de la energía que consumen las principales actividades industriales que se desarrollan en el país. Obteniendo los siguientes datos:

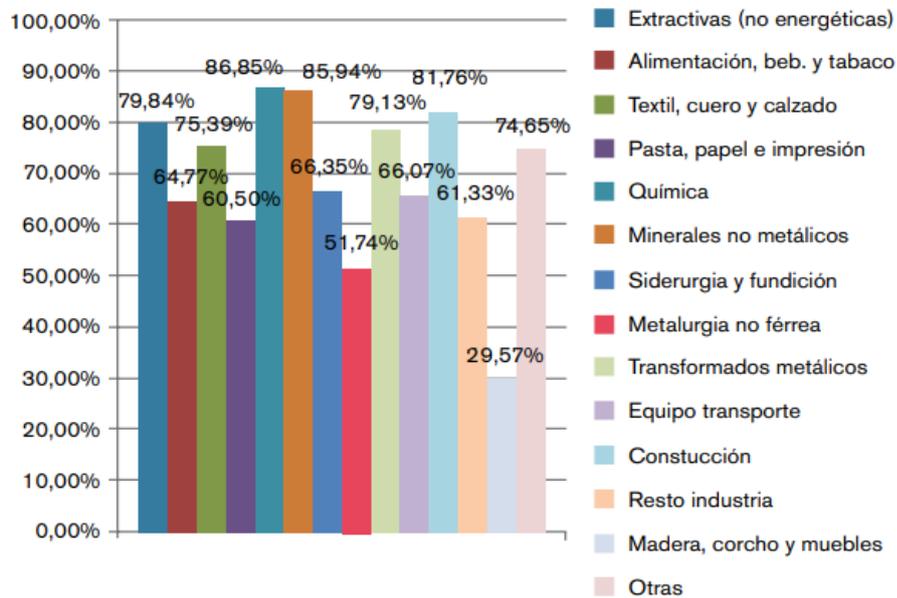


Ilustración 5. Dependencia energética por tipo de industria (2008-2013).
Extraído de: Técnica Industrial.

Respecto a los datos obtenidos para el sector del transporte la dependencia es aún superior, ya que la mayoría de los vehículos funcionan con combustibles de origen fósil lo que produce una dependencia en el sector del 95,56%.

Este dato se ha obtenido analizando el origen de la energía para cada uno de los tipos de transporte que se llevan a cabo en nuestro país, obteniendo así la dependencia energética de cada uno de ellos:

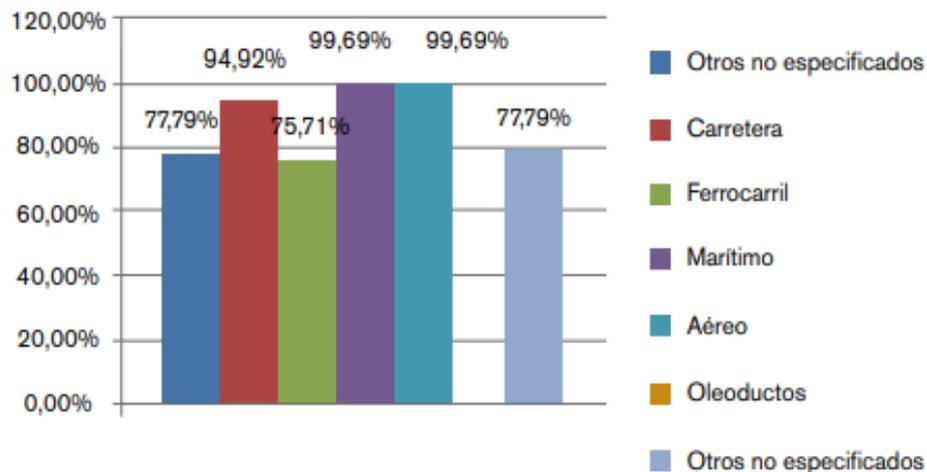


Ilustración 6. Dependencia energética por tipo de transporte (2008-2013).
Extraído de: Técnica Industrial.

Por último, cuando se hace referencia a la dependencia energética en usos diversos se refiere a los sectores de: comercio, servicios, administración pública y residencial. En este sector tan amplio el uso de combustibles fósiles se reduce considerablemente con respecto a los otros dos, ya que está por debajo del 40%, esto provoca que su dependencia energética sea menor situándose en un 62,52%. Esta cifra sigue siendo demasiado alta para el desarrollo de una economía sostenible.

La situación actual exige que se lleven a cabo medidas que fomenten el autoabastecimiento energético. Dado que España no es un país productor de gas, petróleo y carbón se deben disminuir el consumo de dichas energías siendo sustituidas por energías cuyas fuentes de origen sean autóctonas, como pueden ser las energías renovables.

El objetivo debe ser lograr un modelo económico y social que se autoabastezca en al menos un 80%, esto es un requisito imprescindible para establecer una economía sostenible. Para ello es necesario sustituir las centrales térmicas de carbón y ciclos combinados por instalaciones de molinos eólicos, placas solares fotovoltaicas... Que nos permitan producir energía limpia con recursos propios.

1.2 Producción energética en España.

En España se comienza a producir energía de forma masiva a partir de los años veinte del siglo pasado con las grandes obras hidráulicas, posteriormente la construcción de pantanos para la producción energética caracterizó el franquismo que en sus últimos años construyó la primera central nuclear española. En democracia con la llamada moratoria nuclear se abrieron en España de manera continuada varias centrales nucleares, las cuales se establecieron como una de las principales formas de producción energética en España.

Los recursos fósiles en España aparte de ser escasos son muy costosos, tanto en su extracción como en su posterior tratamiento en centrales de ciclo combinado para la obtención de la energía final.

Debido a la escasez de recursos fósiles en el territorio europeo, España y toda la Unión Europea importan la mayor parte de dichos recursos. Según datos de Eurostat España importa el 98% de los recursos de los combustibles fósiles que utiliza lo que le sitúa entre los diez Estados con mayor dependencia en las importaciones de petróleo y gas.

Respecto a la energía nuclear, son conocidos sus inconvenientes debido a los residuos radiactivos que produce, dejando aparte la controversia y discrepancia social a la que da lugar debido a su innata peligrosidad. Incluso políticamente hablando, no existe en España una fiscalidad clara acerca de las nucleares.

Pese a esto según el Foro de la Industria Nuclear Española, España cuenta con instalaciones nucleares que cubren el ciclo de combustible completo: siete reactores nucleares operativos Almaraz I y II (Cáceres), Ascó I y II (Tarragona), Cofrentes (Valencia), Trillo (Guadalajara) y Vandellós II (Tarragona), una fábrica de combustible nuclear de Juzbado (Salamanca) y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad en El Cabril (Córdoba).

Además, está previsto que España cuente con un Almacén Temporal Centralizado (ATC) de residuos nucleares de alta actividad en el municipio de Villar de Cañas (Cuenca), que almacenará todo el combustible nuclear gastado del país en un único emplazamiento. Hasta que el ATC esté operativo, el combustible gastado se encuentra perfectamente vigilado, controlado y almacenado en las propias centrales nucleares bien en piscinas, o en almacenes temporales individualizados (ATI). La gestión de los residuos radiactivos que se producen en España, así como el desmantelamiento de las instalaciones nucleares corre a cargo de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa).

Junto con las instalaciones nucleares, España cuenta con una industria capacitada, experta y tecnológica que no sólo apoya la excelente operación de las centrales nucleares españolas, sino que exporta productos y servicios y está presente en todo el ciclo nuclear en más de 40 países.

Por último, para conocer la importancia de la energía nuclear en la actualidad en España, hay que destacar que con tan solo el 6,55% de la potencia neta instalada, los siete reactores nucleares españoles han producido 55.843 GWh netos; convirtiéndose así en líderes en producción eléctrica.

La industria carbonífera siempre ha sido siempre una de las principales formas de producción energética, así como el sustento económico de gran parte de la población española, sobre todo en territorios de Castilla y León, Asturias y Aragón. Prueba de ello fueron los 51.420 trabajadores que en 1985 se dedicaban a este sector.

Pero la situación en la actualidad es muy diferente solo 2046 trabajadores se dedican a la actividad minera ya que en la actualidad la mayor parte del carbón que se quema en las centrales térmicas es importado de países como Colombia y Rusia. En este diagrama se reflejan las toneladas producidas en territorio nacional, así como as importadas del extranjero:

	Millones de toneladas	Porcentaje
Nacional	2,9	14,29
Importado	17,4	85,71
Total	20,3	100



Tabla 1. Origen del carbón consumido en España. Elaboración propia.

Ilustración 7. Origen del carbón consumido en España. Elaboración propia.

Pese a esto según informaba el diario El País a 28 de diciembre del 2018, el 1 de enero del 2019 los últimos 26 yacimientos españoles de los cuales solo 12 seguían extrayendo carbón tendrían que cerrar o devolver al estado los más de 500 millones euros que habían recibido en concepto de ayudas. A continuación, podemos observar la producción de los yacimientos españoles que tienen intención de cerrar y de los que aun continuarán con su actividad productiva, así como las ayudas que estos tendrán que devolver:



Ilustración 8. Yacimientos de carbón a partir de 2019. Extraído de El País.

Además 9 de las 15 centrales térmicas en España que queman este fósil tendrán que cerrar a partir de 2020 debido a que la obtención de electricidad a partir de este mineral representa el 15% de todos los gases efecto invernadero producidos por la actividad económica española. Por lo que la normativa europea va encaminada a hacer desaparecer las centrales de carbón. En el siguiente mapa quedan reflejadas las emisiones de CO2 equivalentes por cada una de las centrales que continúan en funcionamiento:

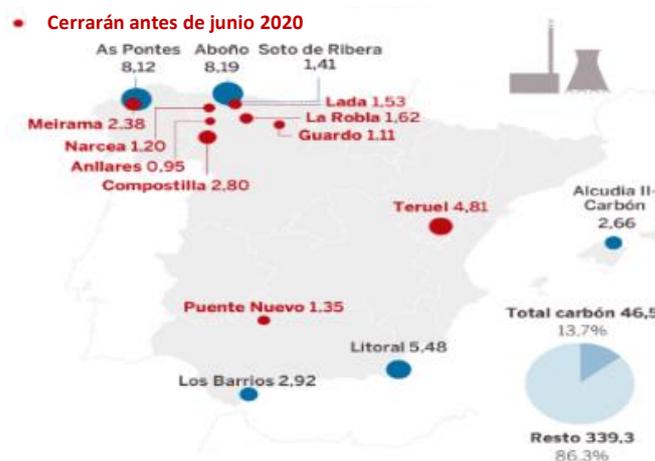


Ilustración 9. Millones de toneladas de CO2 equivalente emitidas en 2017. Extraído de El País.

Todo esto hace que las centrales de carbón sean cada vez menos atractivas. De hecho, las eléctricas han emprendido una carrera en España por deshacerse de todas sus plantas de tratamiento de este mineral, ya que son viejas y anticuadas por lo que necesitan de costosas obras si quieren continuar con su actividad.

Respecto a las fuentes de energía renovables al contrario que con los combustibles fósiles, España tiene las condiciones ideales para establecer un sistema autosuficiente basado en estas.

Durante la primera década del siglo XXI el gobierno estableció el Plan de Acción Nacional de las Energías Renovables 2000-2010 (PANER). Cuyo principal objetivo era llegar a cubrir el 30% de la cuota energética total de España mediante energía cuyo origen fuese renovable.

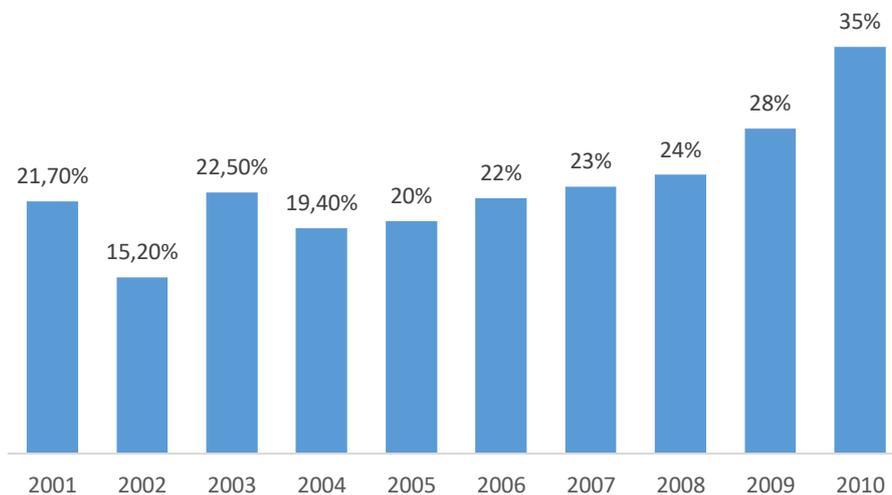


Ilustración 10. Porcentaje de cobertura de las energías renovables en España (2001-2010). Elaboración propia.

Como podemos observar en el diagrama realizado a partir del estudio de la cobertura eléctrica mediante energías renovables realizado por Red Eléctrica Española y MINETUR, la cobertura de la demanda eléctrica mediante “energías limpias” subió desde un 21,7% en 2001 a un 35% en 2010, por lo que podemos afirmar que el objetivo fijado por el PANER en el año 2000 se cumplió con creces.

Pero como podemos comprobar en el gráfico realizado a partir de los datos de la revista Diario Renovables, a partir del 2010 se interrumpió el exhaustivo fomento de las energías renovables de la década anterior, por lo que su producción ha estado supeditada de manera directa a las condiciones climatológicas respectivas de cada año.

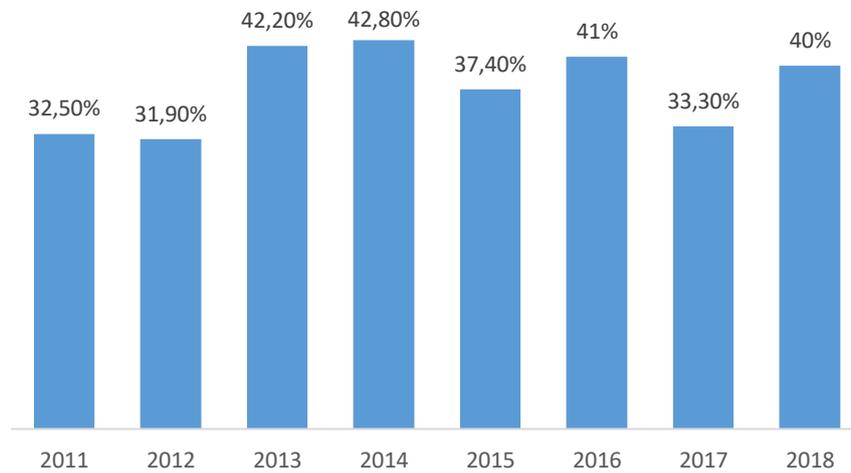


Ilustración 11. Porcentaje de cobertura de las energías renovables en España (2011-2018). Elaboración propia.

1.3 Consumo energético en España.

Según el estudio de Luis Villafruela Arranz, Mauricio Remacha Moro y Félix Martínez Casares; “*Demanda de energía eléctrica en España: análisis de su evolución histórica y causas de variación*” la demanda de energía en España desde 1970 ha venido condicionada en un 45% por el propio crecimiento económico, el 55% restante se puede atribuir a varios factores como son la intensidad industrial 26%, el consumo medio por hogar 20% y el crecimiento demográfico experimentado 9%.

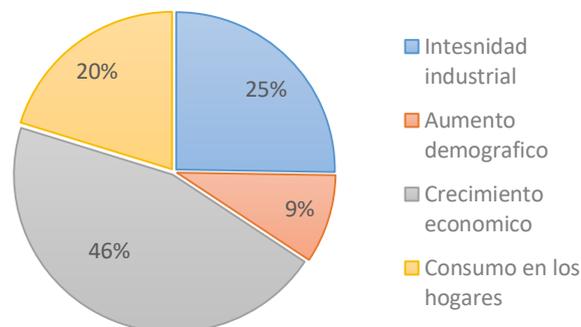


Ilustración 12. Aportación al consumo energético español (1970-2012). Elaboración propia.

La aportación del consumo medio en hogares e industrias ha permanecido constante prácticamente durante todo el periodo de estudio, cabe destacar únicamente un cierto efecto negativo a modo de “ahorro relativo” a partir del 2006 por el periodo de crisis.

El “Libro de la Energía en España 2017” del Ministerio para la Transición Ecológica ha recogido la serie histórica de consumo de energía primaria desde el 1990, clasificándolas en función de la fuente de origen de cada una de ellas.

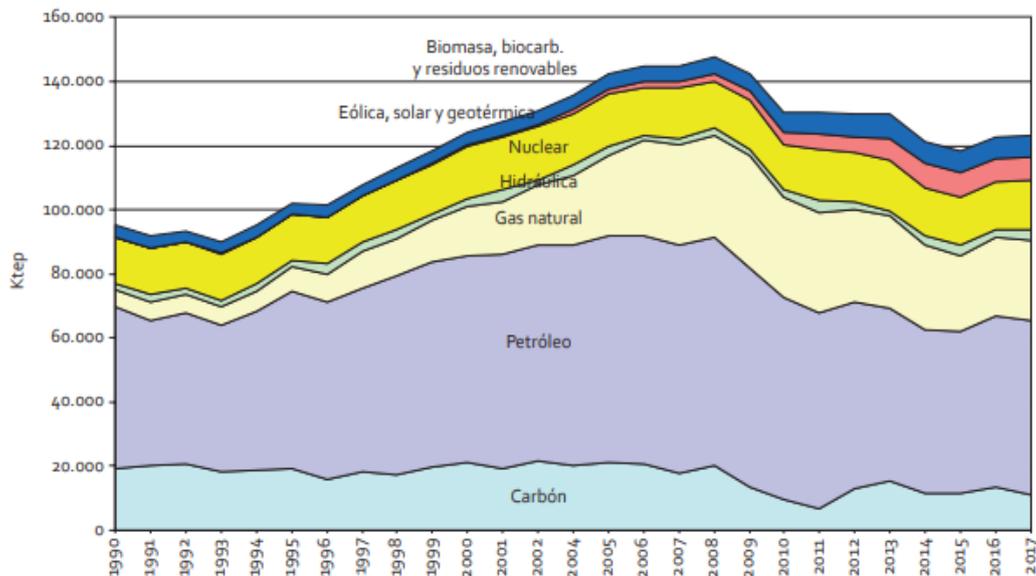


Ilustración 13. Evolución del consumo de energía primaria en España (1990-2018).
Elaboración propia.

Como podemos observar en el gráfico, los combustibles fósiles siempre han tenido un importante papel en el consumo energético de España, lo mismo ocurre con el carbón. La energía nuclear permanece constante durante todo el periodo, representando un 15% del consumo energético primario en España. Por último, cabe destacar la irrupción de las energías renovables a partir del año 2000, cuando comenzó su inclusión en el sector energético español a través del ya mencionado, Plan de Acción Nacional de las Energías Renovables 2000-2010 (PANER).

En términos globales de consumo la tendencia es ascendente desde 1990 pero se ve interrumpida en el 2008, donde la crisis económica ralentizó la economía española y provocó el ahorro en términos energéticos. Una vez superado este periodo la tendencia se ha estabilizado y el consumo comienza a crecer de nuevo debido a la recuperación de la actividad económica.

1.4 Comparación producción-consumo de energía.

A continuación, utilizando los datos proporcionados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el “*Libro de las Energía 2017*” he elaborado dos tablas.

La primera recoge los datos de producción de energía primaria en España, con los respectivos porcentajes que cada fuente de energía representa respecto al total de la producción energética española.

La segunda tabla recoge los datos del consumo de energía primaria, pudiendo destacar así las principales fuentes de consumo y conociendo la parte porcentual que cada una de ellas representa en el mix energético español.

El objetivo es analizar ambas tablas, conocer la tendencia tanto en ámbito de producción como de consumo durante la última década y establecer relaciones entre ambas que nos permitan identificar los principales problemas del sector energético en España. Las conclusiones se presentan inmediatamente después a dichas tablas.

Año	Carbón		Petróleo		Gas natural		Nuclear		Hidráulica		Eólica, Solar y Geotérmica		Biomasa, bicarburos y residuos renovables		Total renovables		Total
	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep
2010	3293	0,1	125	0,36	45	0,13	16155	46,89	3638	10,56	4858	14,1	6340	18,4	14836	43,06	34454
2011	2648	0,08	102	0,32	45	0,14	15042	46,99	2631	8,22	5061	15,81	6485	20,26	14177	44,28	32014
2012	2460	0,07	145	0,43	52	0,16	16019	47,78	1767	5,27	6679	19,92	6402	19,1	14848	44,29	33524
2013	1762	0,05	375	1,1	50	0,15	14783	43,31	3170	9,29	7632	22,36	6363	18,64	17165	50,29	34135
2014	1628	0,05	311	0,9	21	0,06	14934	43,25	3369	9,76	7599	22,01	6668	19,31	17636	51,07	34530
2015	1246	0,04	236	0,7	54	0,16	14934	44,4	2397	7,13	7476	22,22	7295	21,69	17168	51,04	33638
2016	736	0,02	144	0,42	48	0,14	15273	44,73	3129	9,16	7402	21,68	7415	21,71	17946	52,56	34147
2017	1128	0,03	122	0,36	24	0,07	15119	44,94	1615	4,8	7591	22,56	8043	23,91	17249	51,27	33642

Tabla 2. Producción energética en España (2010-2017). Elaboración propia.

Año	Carbón		Petróleo		Gas natural		Nuclear		Hidráulica		Eólica, Solar y Geotérmica		Biomasa, bicarburos y residuos renovables		Residuos renovables		Total renovables		Saldo eléctrico		Total
	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep	(%)	Ktep
2010	6800	5,24	61160	47,13	31123	23,98	16155	12,45	3638	2,8	4858	3,74	6579	5,07	174	0,13	15249	11,75	-717	-0,55	129770
2011	12691	9,8	58372	45,06	28930	22,33	15042	11,61	2631	2,03	5031	3,88	7168	5,53	195	0,15	15025	11,6	-524	-0,4	129536
2012	15331	11,86	53978	41,76	28569	22,1	16019	12,39	1767	1,37	6679	5,17	7716	5,97	176	0,14	16338	12,64	-963	-0,74	129272
2013	11348	9,38	51318	42,41	26158	21,62	14783	12,22	3170	2,62	7632	6,31	6969	5,76	200	0,17	17971	14,85	-581	-0,48	120997
2014	11639	9,83	50447	42,61	23662	19,99	14934	12,61	3369	2,85	7599	6,42	6828	5,77	204	0,17	18000	15,2	-293	-0,25	118389
2015	13583	11,05	53045	43,15	24538	19,96	14903	12,12	2420	1,97	7444	6,06	6756	5,5	252	0,2	16872	13,72	-11	-0,01	122930
2016	10798	8,7	54747	44,09	25040	20,17	15273	12,3	3129	2,52	7402	5,96	6882	5,54	235	0,19	17648	14,21	659	0,53	124165
2017	12821	9,83	57696	44,22	27274	20,9	15119	11,59	1615	1,24	7591	5,82	7303	5,6	260	0,2	16769	12,85	788	0,6	130467

Tabla 3. Consumo energético en España (2010-2017). Elaboración propia.

Como podemos observar no tiene ningún sentido hacer una comparación en cuanto a la energía producida y consumida en (Ktep) ya que como hemos mencionado anteriormente España es un país dependiente energéticamente hablando por lo que la mayor parte de la energía consumida es importada.

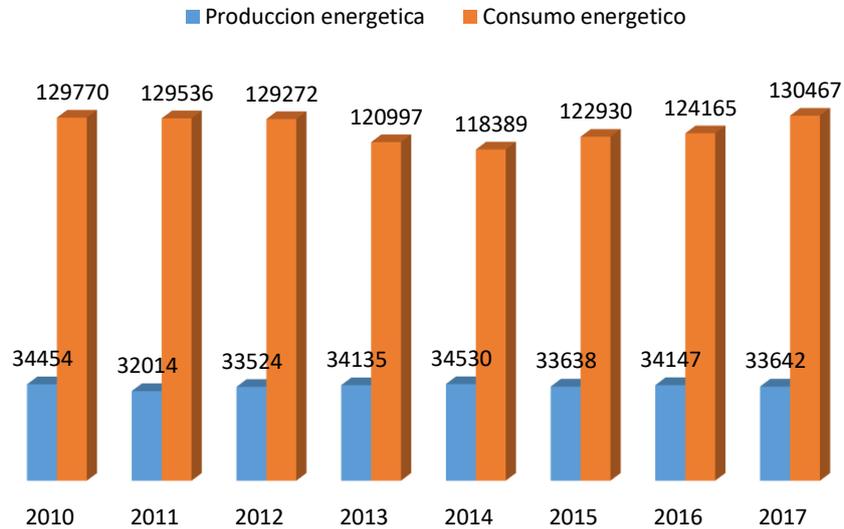


Ilustración 14. Producción energética vs consumo energético (2010-2017).
Elaboración propia.

Analizando estos datos podemos observar que el consumo de energía primaria en España es un 300% superior a la producida, esto implica un coste y endeudamiento altísimo que imposibilita establecer una economía sostenible en el país, ya que el coste de realizar las propias actividades se encarece una mucho, limitando la competitividad en el mercado y el margen de beneficio.

Pero si tiene sentido analizar la correlación entre los porcentajes de producción y consumo, diferenciando en la fuente de origen de la energía, de donde podemos sacar una serie de aspectos fundamentales:

- El carbón va desapareciendo del panorama energético productivo español debido al cierre de yacimientos y centrales térmicas, pero aún se sigue importando de países como Rusia o Colombia es por ello que su consumo tampoco se reduce en exceso. Cabe destacar que los datos utilizados son hasta el año 2017, es decir, aún no habían tenido lugar las restrictivas medidas que se aplicaron a partir de enero del 2019 que acabo con gran parte de la industria carbonífera en España, por lo que la reducción en términos de producción energética utilizando carbón son aún más bajos.
- Como podemos observar la producción de petróleo en todos los años para los que se realizó el estudio nunca supera el 1% mientras que es la forma de energía más consumida en todos los años.

- Lo mismo ocurre con el gas natural, en el ámbito productivo no tiene un valor nada representativo (< 5%), sin embargo, en el ámbito de consumo se sitúa en torno al 20%, estableciéndose como la segunda forma de obtención de la energía más utilizada en los 7 años estudiados.
- La energía nuclear mientras tanto se sitúa como la principal productora de energía en España, con una ligera caída en los últimos años. Los datos de producción y consumo son muy similares lo que implica que apenas se importa/exporta energía procedente de las centrales nucleares españolas, es decir, la mayor parte de la energía producida en ellas se consume en el territorio nacional.
- Respecto a la energía procedente de fuentes renovables su producción aumento en un 17% de 2010 a 2017, aunque insuficiente esto muestra que España está tomando medidas para llevar a cabo una revolución energética, donde las renovables serán las protagonistas del sector. Respecto al consumo de dicha energía, ocurre igual que con la nuclear, prácticamente no hay importaciones/exportaciones, la mayoría se consume en España.

1.5 Intensidad energética.

Para finalizar este análisis del sector energético español, vamos a explicar y analizar el concepto de “*intensidad energética*”.

Según la web Economipedia, experta en conceptos económicos la intensidad energética es: “una medida que permite determinar que cantidad de recursos energéticos necesita un país para generar el producto interno bruto (PIB), que es una de las medidas macroeconómicas más importantes para conocer el estado de su economía”.

Este concepto funciona estableciendo una relación entre entradas y salidas, de tal manera que se considera una salida todos los bienes y servicios que se producen en un determinado periodo de tiempo y una entrada todos los recursos energéticos necesarios para llevar acabo dichos productos y servicios. Para poderlas comparar de manera homogénea ambas se expresan como cantidades monetarias.

A la hora de considerar los resultados existen tres escenarios favorables para el país de estudio:

- Se mantienen los costes energéticos y aumenta el producto interior bruto (PIB).
- Se reducen los costes energéticos y se mantiene el producto interior bruto (PIB).
- Aumentan los costes energéticos pero el producto interior bruto (PIB) aumenta de manera proporcional o en mayor medida.

Como es lógico el resto de escenarios posibles son negativos, ya que si aumentan los costes y el PIB permanece igual o disminuye quiere decir que necesitamos más energía para generar la misma o incluso menos riqueza.

Para calcular el valor de la intensidad energética se utiliza la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{E}{PIB}$$

*Ecuación 1. Intensidad energética.
Extraído de Economipedia.*

Donde:

- IE representa la intensidad energética.
- E uso/consumo de recursos energéticos.
- PIB producto interior bruto.

Una vez explicado el propio concepto y como se debe trabajar con el mismo, vamos a analizar los resultados obtenidos para España.

La intensidad energética en España presenta dos etapas muy diferentes, la primera tiene lugar de 1995 a 2004 durante esta época la intensidad energética española crecía de manera constante, al contrario que la media de países que integraban la Unión Europea los cuales conseguían seguir aumentando su PIB reduciendo los costes energéticos. La segunda etapa la encontramos a partir de 2005, donde un cambio brusco en el mix energético español provocó una bajada pronunciada de su intensidad energética.

A continuación, utilizando los datos obtenidos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) desarrollados en el *“Análisis de la evolución de la intensidad energética en España”* vamos a desagregar la intensidad energética de España en los diferentes sectores que comprenden la economía y para evaluar la situación actual se realizará una comparativa con los valores obtenidos para otros países de la Unión Europea.

En el sector industrial, hay tres actividades en España que incrementan de manera significativa la intensidad energética del sector como son: la industria química (un 60% superior) y la producción de productos no metálicos (un 37% superior) y metales básicos (un 21% superior). Estas tres actividades lastran la mejora de la eficiencia energética en el sector industrial.

La especialización en actividades que requieren más energía como puede ser en el caso de los minerales no metálicos, la especialización en productos destinados a la construcción los cuales requieren de un alto consumo energético para su producción (la IE del cemento es de 2.000 tep/M€ y la del acero 878 tep/M€), provoca que pese a la mejora y modernización de la industria española durante los últimos años todavía no se hayan alcanzado los niveles de intensidad energética de la media de las 15 grandes

potencias de la Unión Europea, pero si la media de los 28 países la que forman. Todo esto lo podemos comprobar en la ilustración 15.

Respecto al transporte la intensidad energética española en este sector es mucho más alta que la del resto de países la Unión Europea, solo se ve superado por: Italia, Grecia y Portugal. Esto lo podemos ver en la ilustración 16.

Los puntos favorables para España en términos de intensidad energética se encuentran en el sector residencial y servicios. Los países mediterráneos partes de niveles muy bajos de IE en estos sectores y va convergiendo y creciendo hasta los niveles europeos, mientras que los países nórdicos parten de valores de IE y van decreciendo hasta estabilizarse en el sector servicios, sin embargo, en el sector residencial no llegan a estabilizarse por una causa principal: las bajas temperaturas, las cuales provocan un incremento en el consumo energético para la calefacción. Los países mediterráneos convergen hacia los niveles europeos por la el aumento en el equipamiento de las oficinas y hogares en sistemas de climatización de alto consumo energético debido a las altas temperaturas que estos países sufren durante varios meses del año, lo que provoca un aumento en el consumo energético. Además, estos países se especializan en el sector turístico que es más intensivo en cuanto a energía se refiere. Todo esto podemos visualizarlo en la ilustración 17 y 18.

Para finalizar, en términos globales, realizando la comparativa de España respecto a la totalidad de los 28 países que componen la Unión Europea los resultados son muy positivos, los bajos niveles de intensidad energética en el sector terciario y residencial provoca que España se situé por debajo de la media. Si realizamos la comparativa con las grandes potencias europeas podemos observar que España sigue la tendencia de Reino Unido y Alemania e incluso presenta datos más positivos que Francia, este dato es verdaderamente favorable, aunque aún existen sectores en los que se puede trabajar en la eficiencia energética como puede ser el sector industrial. Esto se muestra en la ilustración 19.

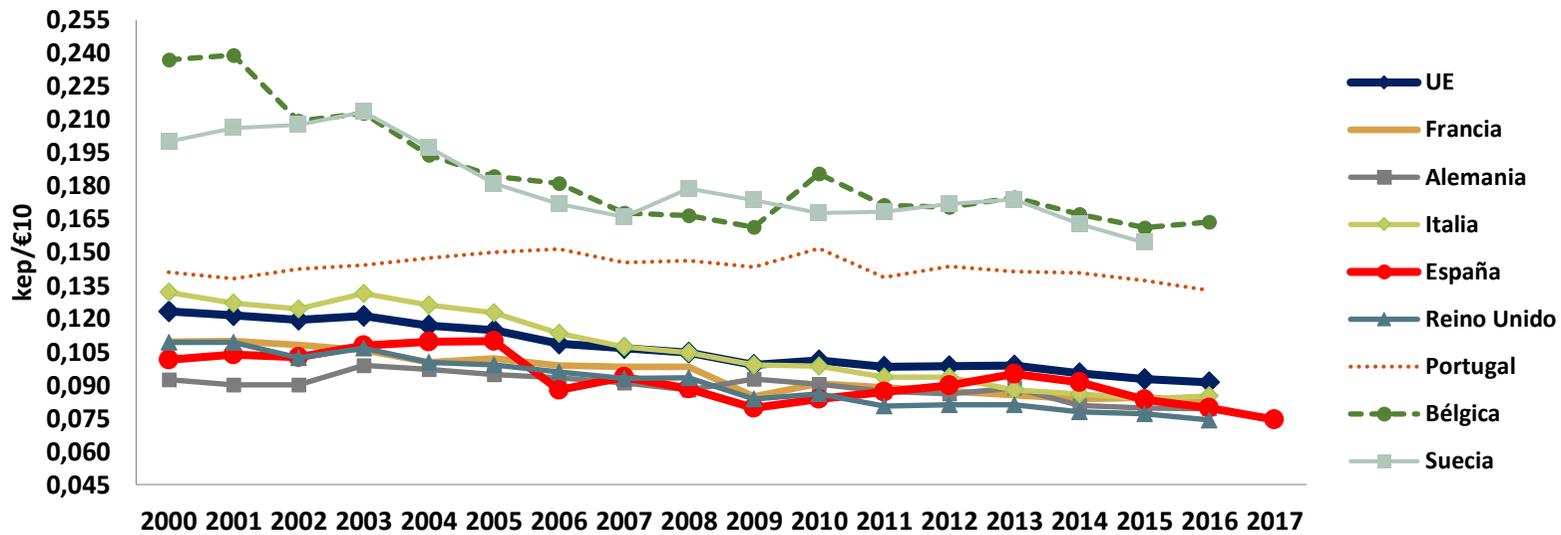


Ilustración 16. Comparativa de la intensidad energética en el sector de la industria (2000-2017). Extraído de IDAE.

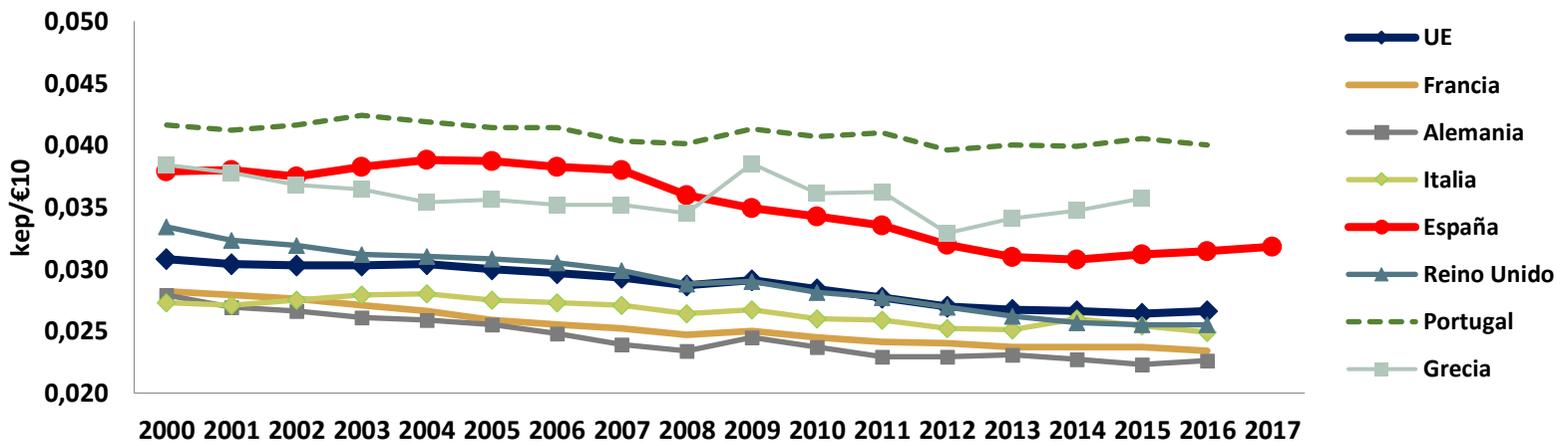


Ilustración 15. Comparativa de la intensidad energética en el sector del transporte (2000-2017). Extraído de IDAE.

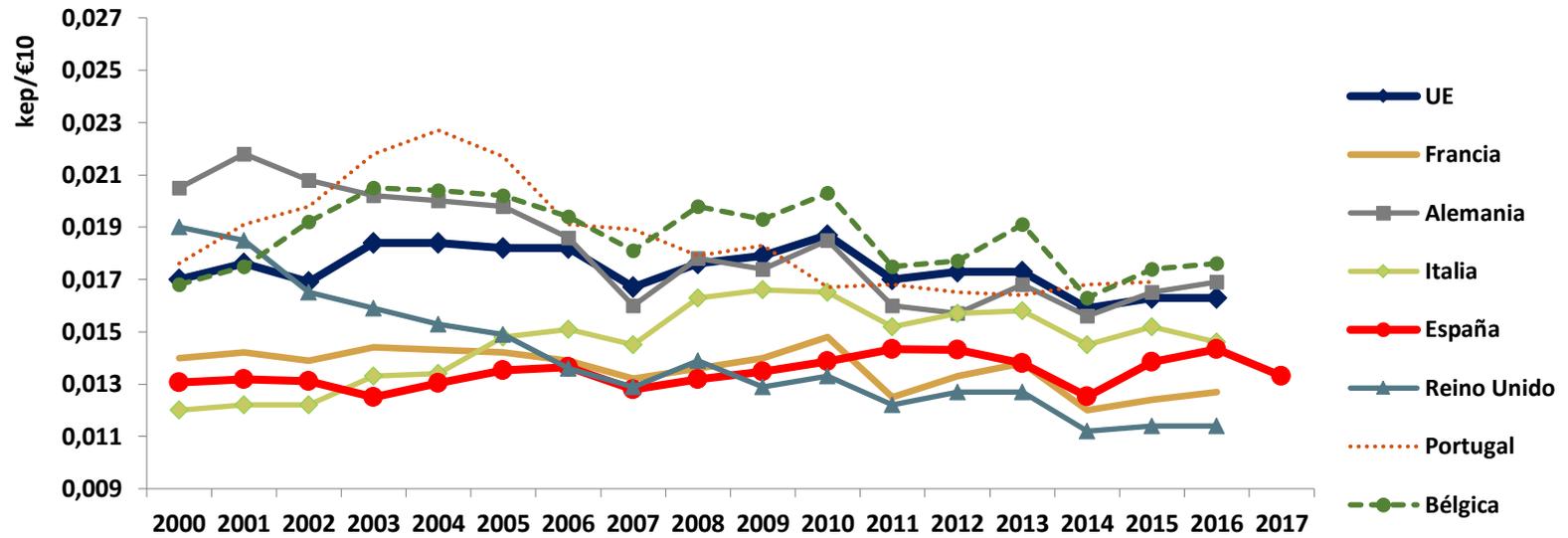


Ilustración 17. Comparativa de la intensidad energética en el sector servicios (2000-2017). Extraído de IDAE.

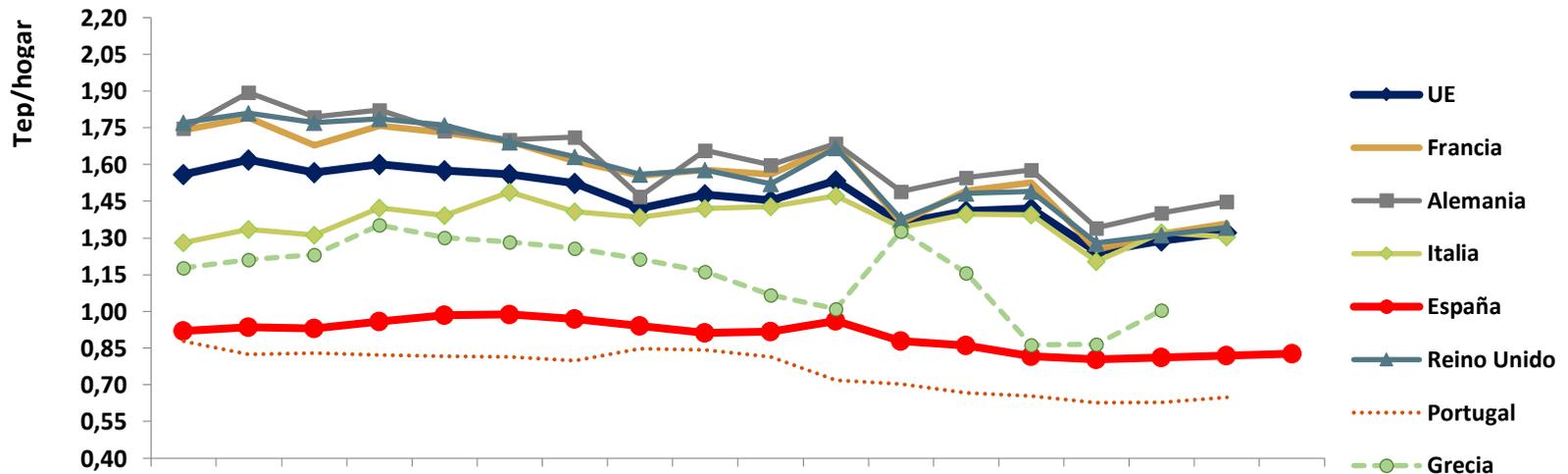


Ilustración 18. Comparativa de la intensidad en el sector residencial (2000-2017). Extraído de IDAE.

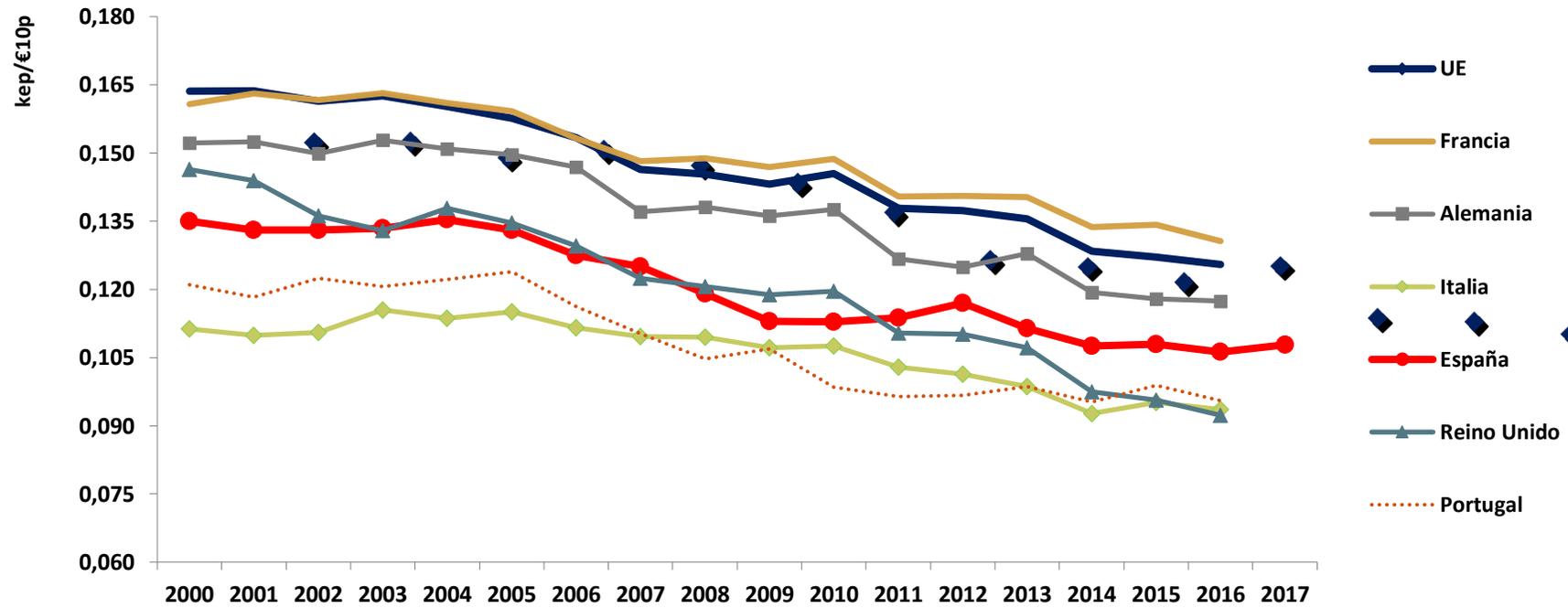


Ilustración 19. Comparación global de la intensidad energética en Europa. Extraído de IDAE.



Capítulo 2: Energías renovables y autoconsumo.

2.1 Energías renovables.

Según la empresa española Acciona experta en la gestión de energías renovables define las mismas como fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero –causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

De manera más breve, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) define a las energías renovables como aquellas que a diferencia de las fuentes convencionales, son recursos limpios cuyo impacto es prácticamente nulo y siempre reversible y se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables.

En España el crecimiento de las energías renovables es muy significativo, según las estadísticas aportadas por la Agencia Internacional de la Energía, representan casi la mitad de la nueva capacidad eléctrica instalada en los últimos años.

2.1.1 Tipos de energías renovables.

A continuación, se va a realizar una breve explicación de los diferentes tipos de energías renovables que existen en la actualidad, haciendo más hincapié en la energía solar fotovoltaica, protagonista de este trabajo.

- Energía eólica: se trata de la energía que obtenemos gracias al viento. A día de hoy es la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables.

La energía se obtiene conectando a un generador los molinos que se encargan de transformar en energía eléctrica el viento que hace girar sus aspas. A la agrupación de molinos se le denomina parques eólicos y podemos encontrarlos tanto terrestres como marinos.

- Geotérmica: se considera una de las fuentes de energía renovable más extendida por toda Europa. Se puede definir como “*la energía generada por fuentes geológicas de calor*”. Se basa en aprovechar el calor natural de la tierra, el cual es liberado de manera natural por los procesos de descomposición nuclear de los elementos radiactivos dentro del núcleo, el manto y la corteza terrestre.

La energía se obtiene mediante un par (o un número par de pozos), de tal manera que por uno se extrae el agua caliente y por otro se vuelve a reinyectar en el acuífero tras haber enfriado el caudal obtenido.

- Hidroeléctrica: es la energía producida por la caída del agua. Las centrales hidroeléctricas utilizan agua retenida en embalses o pantanos a gran altura, de tal manera que cuando el agua cae se la hace pasar por unas turbinas que transmiten energía a un alternador, el cual convierte la energía potencial de la caída en energía eléctrica.
- Mareomotriz: trata de aprovechar el ascenso y descenso del agua marina que se produce por la pura acción gravitatoria del sol y la luna sobre los océanos de este modo es posible generar electricidad de manera limpia. Existen tres formas de generación eléctrica mediante las mareas marinas:
 1. Generador de la corriente de marea: funciona de manera similar a la energía eólica utilizando esta vez la energía cinética del agua del mar y no del viento.
 2. Presa de marea: estas hacen uso de la energía potencial que existe en las mareas debido a la diferencia de alturas o pérdidas de carga entre altas y bajas mareas, requiere de grandes infraestructuras como diques y compuertas, a parte requiere de un sitio viable por lo que su existencia es escasa.
 3. Por último, la energía mareomotriz dinámica es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre energía potencial y cinética de las corrientes de marea. Se propone crear presas de gran longitud alejándose de la costa que no encierren ninguna superficie en concreto.
- Undimotriz: similar a la energía mareomotriz ya que su recurso también reside en los mares y océanos, esta forma de energía se obtiene captando la energía contenida en el movimiento de las olas mediante dispositivos flotantes amarrados, sistemas de columnas de agua oscilantes o sistemas de superficies articuladas. Tiene un enorme potencial eléctrico ya que se estima que de cada metro de ola se puede obtener entre 20 y 40 kW.
- Biomasa: se usa desde tiempos inmemorables para tareas cotidianas, pero desde que los combustibles fósiles comenzaron a adquirir importancia cayeron en el olvido, pero es ahora con el auge de las energías renovables que vuelve a resurgir como una fuente de energía inagotable.

Es un conjunto de materiales orgánicos tanto de origen vegetal como animal, de los cuales se puede obtener energía mediante la combustión, ya sea en centrales térmicas o calderas preparadas para ello. Emiten menos azufre que los combustibles fósiles, minimizan el riesgo de incendios y reducen las plagas de insectos.

- Biocarburantes: son combustibles líquidos o gaseoso producidos a partir de biomasa para automoción. En la actualidad existen tres principales: biodiesel, bioetanol y biogás.
- Solar: este tipo de energía se sustrae aprovechando la energía que proviene del sol. Se trata de un tipo de energía inagotable y abundante. Podemos demostrarlo ya que el sol vierte diariamente sobre el planeta diez mil veces más energía que la que se consume en todo el planeta. Actualmente la energía solar es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en todo el mundo.

Según el blog energético Greentech podemos diferenciar dos tipos diferentes de energía solar la pasiva y la activa:

La energía solar pasiva permite aprovechar la energía solar directa sin tener que procesarla como por ejemplo mediante la arquitectura bioclimática. La arquitectura bioclimática se basa en la construcción de infraestructuras con el objetivo de recolectar, almacenar y distribuir energía solar en el invierno y rechazarla durante el verano.

La energía solar activa requiere de un proceso de transformación energética. Dentro de esta se encuentran dos tipos distintos la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica, en las que se usan paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía del sol. Para el diseño de este tipo de instalaciones es importante analizar diferentes factores geográficos como son las condiciones atmosféricas y la latitud. Así como de la orientación del propio dispositivo solar. A continuación, se va a realizar una breve explicación de como estos dos tipos de energía solar activa obtienen energía a partir de la radiación solar:

- 1- Energía solar fotovoltaica: consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores que componen las células fotovoltaicas de los paneles solares.

Un panel fotovoltaico es un conjunto de celdas o células fotovoltaicas encapsuladas entre una lámina frontal de vidrio y una posterior de un polímero termo plástico o cristal, rodeadas de un marco de aluminio, hierro o acero.

Cada célula fotovoltaica convierte la luz del sol directamente en electricidad, debido a que los materiales semiconductores que componen las células son capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando así corriente eléctrica. Al incidir la radiación solar se genera una diferencia de potencial entre las caras de la célula fotovoltaica que permite que se liberen los electrones de los átomos que los contenían.

Las células fotovoltaicas pueden estar compuestas por tres materiales diferentes: silicio monocristalino, silicio policristalino, silicio amorfo.

- 2- Energía solar térmica: consiste en captar los rayos de sol con un panel solar térmico o colector solar por el que se hace circular agua u otro fluido. El calor absorbido por el panel es transferido al líquido y ya puede ser usado o almacenado para cuando haga falta.

2.1.2 Fiscalidad de las energías renovables.

La revolución del sector energético en España es una realidad, el Ministerio de Industria y Comercio en colaboración con el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía diseñaron el llamado Plan de Acción Nacional de las Energías Renovables 2011-2020 (PANER), donde se fijan los principales objetivos y las medidas necesarias para la consecución de los mismos.

En la introducción del PANER podemos encontrar de manera resumida todos los aspectos que motivan a la revolución del sector energético español: *“La evolución de los precios del petróleo y la distribución geográfica de las reservas de energía han condicionado las opciones energéticas de los países desarrollados desde hace más de tres décadas. De manera más reciente, las preocupaciones ambientales, el intenso proceso de crecimiento de los países emergentes, con el consiguiente efecto inflacionario sobre las fuentes de energía primaria y la liberalización del sector de la energía en Europa, han venido caracterizando el nuevo marco de referencia para la instrumentación de la política energética”*. Todos estos aspectos han sido desarrollados en el análisis de la situación energética española en el capítulo anterior.

La Unión Europea propone entonces un avance coordinado en el desarrollo y evolución energética de todos los países que conforman dicha institución fomentando el desarrollo de infraestructuras de interconexión que garanticen el suministro de todos los países y la reducción de contaminantes.

El Plan de Acción Nacional de las Energías Renovables identifica los tres problemas que España debe mitigar para alcanzar los objetivos fijados por la Unión Europea:

- Un consumo energético por unidad de producto interior bruto más elevado. (Intensidad energética)
- Elevada dependencia energética.
- Elevadas emisiones de gases de efecto invernadero.

Para afrontar estos retos la política energética española se ha desarrollado alrededor de tres ejes: el incremento de la seguridad en el suministro, la mejora de la competitividad de nuestra economía y la garantía de un desarrollo sostenible económica social y medioambientalmente.

Por lo tanto, siguiendo con estas directrices las energías renovables se establecen como el principal frente de desarrollo de la energía en España. Para ello vamos a analizar los objetivos que se establecen en el PANER y las medidas a llevar a cabo para la consecución de los mismos.

En la siguiente tabla encontramos los objetivos resumidos que se pretenden lograr para el asentamiento de las renovables en el panorama energético español.

A) Cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía final bruta en 2005 (S_{2005}) (%)	8,7%
B) Objetivo para la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía final bruta en 2020 (S_{2020}) (%)	20%
C) Consumo de energía total previsto en valor corregido en 2020 (obtenido del cuadro 1, última casilla) (ktep)	97.041
D) Cantidad de energía prevista procedente de fuentes renovables correspondiente al objetivo 2020 (calculado como $B \times C$) (ktep)	19.408

Tabla 4. Objetivos globales nacionales para la cuota de energía obtenida de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en cifras de 2005 y 2020.

Extraído del Plan de Acción Nacional para las Energías Renovables.

Para la consecución de estos objetivos se formularon más de un centenar de medidas, que describen las pautas a seguir por las instituciones involucradas, así como por las empresas generadoras de energía, en concreto electricidad.

Estas medidas se han estructurado en medidas generales, medidas para la generación eléctrica mediante fuentes renovables y por último una serie de medidas específicas para cada una de las tecnologías de generación de energía renovable diferente. A continuación, se van a analizar tan solo las medidas generales, las medidas que engloban la generación de electricidad mediante fuentes renovables y por último las medidas que implican a la generación de energía mediante placas fotovoltaicas.

Medidas generales (visión de conjunto de todas las políticas y medidas):

- 1 y 2- “Desarrollo de un marco adecuado para la simplificación, homogeneización y unificación de los procedimientos administrativos de autorización de instalaciones de EERR, incluyendo la simple notificación” y “Desarrollo de un procedimiento reglado simplificado para la obtención de autorizaciones administrativas para proyectos de EERR para aplicaciones térmicas”: esto facilitaría los trámites y procedimientos administrativos necesarios para proceder a la construcción de instalaciones de producción eléctrica mediante fuentes renovables.

- 3- *“Apoyo a la I+D+i en sistemas de almacenamiento de energía”*: esto permitiría resolver uno de los principales problemas de las energías renovables que constituye el excedente en determinadas horas del día, este problema está explicado posteriormente en el análisis del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.
- 4- *“Mantenimiento de una participación pública activa en I+D+i en el sector de las energías renovables, estableciendo programas de apoyo anuales para las iniciativas industriales prioritarias de desarrollo tecnológico, encaminadas a la reducción de los costes de generación principalmente en los sectores eólico y solar”*: las ayudas económicas al sector de las renovables siempre será un fomento para la modernización de las empresas productoras de electricidad lo que permitirá la evolución energética en España hacia el sector de las renovables.
- 5 y 6- *“Desarrollo de líneas de investigación e innovación científica, que promuevan el desarrollo tecnológico de prototipos de aprovechamiento de energías renovables en el mar” y “Desarrollo de tecnologías marinas específicas, especialmente dirigidas al despliegue en aguas profundas de proyectos de aprovechamiento de las energías renovables (eólica, energía de las olas, etc.)”* : con el claro objetivo de no aprovechar los recursos terrestres sino también hacer uso de los recursos y territorio marino español.
- 7- *“Apoyo financiero a la implantación de plataformas experimentales nacionales de primer nivel y alta especialización, con reconocimiento internacional”*: para cumplir el claro objetivo de convertir España en uno de los países punteros en energías renovables con sector altamente modernizado y competitivo.

A continuación, acerca de las **medidas en el campo de la generación eléctrica con energías renovables** destacaré las más significativas para mi trabajo:

- 1 y 2- *“Cambio hacia un sistema de –redes inteligentes de transporte y distribución (smart grids)” y “Puesta en servicio de nuevas interconexiones internacionales (especialmente con Francia)”*: estas medidas están encaminadas a solucionar el problema que las energías renovables tienen con respecto al abastecimiento en determinadas horas del día o periodos del año. Esto se consigue creando un sistema de interconexión nacional e internacional que permita transportar electricidad de lugares en los que exista excedente a otros donde no se esté cubriendo la demanda.

- 3 y 4- *“Favorecer las instalaciones de generación eléctrica a partir de fuentes renovables destinadas al autoconsumo, mediante el establecimiento de los sistemas más idóneos basados en balance neto y compensación de saldos de energía” y “Nueva regulación para facilitar la conexión de las instalaciones de generación eléctrica con energías renovables de pequeña potencia asociadas a centros de consumo interconectados con la red eléctrica, especialmente en baja tensión”* : favorecer la creación de infraestructuras autoabastecidas mediante energías renovables, disminuyendo las trabas administrativas y responsabilidades fiscales. Esta medida será muy importante a lo que respecta a mi trabajo.
- 5- *“Aumento de la capacidad de almacenamiento energético, mediante la puesta en servicio de nuevas centrales de bombeo”*: con el objetivo de resolver el problema ya mencionado de gestión del excedente.
- 6- *“Potenciación de la gestión de la demanda en tiempo real, facilitando la participación del usuario eléctrico final mediante medidas encaminadas al aplanamiento de la curva de demanda (carga de baterías de vehículos eléctricos, y otras)”*: lo que permitirá gestionar la demanda de tal manera que no exista tanto excedente en determinados momentos y escasez en otros.

Por último, vamos a destacar las **medidas más importantes sobre energía fotovoltaica** que competen a mi trabajo:

- 1- *“Medidas de difusión, promoción y adaptación reglamentaria de las instalaciones solares (fotovoltaicas, térmicas y termoeléctricas) para fomentar su penetración horizontal en todos los sectores (edificación, agropecuario, industrial y servicios)”*: promoción de la tecnología fotovoltaica disminuyendo los procesos administrativos necesarios para su instalación.
- 2- *“Medidas para la profesionalización del sector y para fomento del cambio de percepción de los usuarios mediante la difusión de las ventajas de la energía solar, así como de los derechos y obligaciones de sus usuarios”*: difusión de las ventajas de la energía solar con el objetivo de crear un sector energético solar puntero en Europa.

Estas y muchas más medidas han sido propuestas por el Ministerio de Industria y Comercio para ser llevadas a cabo por el ejecutivo. Este año 2020 podremos observar si estas medidas han sido suficientes para alcanzar el objetivo. Pero a modo de comparación, he elaborado una tabla que nos permite comparar la trayectoria que el Plan había diseñado para la consecución de sus objetivos globales y los datos de la cuota energética española que ha sido cubierta mediante energías renovables.

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Fuentes Energías Renovables- Calefacción y Refrigeración (15) (%)	8,8%	11,3%	11,7%	12,0%	12,5%	13,2%	14,0%	14,9%	15,9%	17,0%	18,1%	18,9%
Fuentes Energías Renovables- Electricidad (16) (%)	18,4%	28,8%	29,8%	31,2%	31,9%	32,9%	33,8%	34,3%	35,7%	36,9%	38,2%	40,0%
Fuentes Energías Renovables- Transporte (17) (%)	1,1%	6,0%	6,1%	6,5%	6,5%	8,2%	9,3%	10,4%	11,1%	12,0%	12,7%	13,6%
Cuota global de Fuentes de Energías Renovables (18) (%)	8,3%	13,6%	14,2%	14,8%	15,4%	16,5%	17,4%	18,3%	19,4%	20,4%	21,5%	22,7%
De la cual, procedente del mecanismo de cooperación (19) (%)			0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0,0%
Excedente para el mecanismo de cooperación (20) (%)			3,2%	3,9%	3,3%	4,4%	3,6%	4,5%	3,3%	4,3%		2,7%

Tabla 5. Objetivos globales nacionales para la cuota de energía obtenida de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en cifras de 2005 y 2020. Extraído del Plan de Acción Nacional para las Energías Renovables 2011-2020.

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Cobertura energética con energías renovables (%)	11,75%	11,60%	12,64%	14,85%	15,20%	13,72%	14,21%	12,85%
Previsión del Plan de Acción Nacional Para las Energías Renovables (%)	13,60%	14,20%	14,80%	15,40%	16,50%	17,40%	18,30%	19,40%
Desviación (%)	-1,85%	-2,60%	-2,16%	-0,55%	-1,30%	-3,68%	-4,09%	-6,55%

Tabla 6. Comparativa entre la cobertura energética de las energías renovables en España y la previsión aportada por el PANER. Elaboración propia.

En la tabla 6 podemos observar la diferencia que ha existido entre la trayectoria descrita a seguir por el Plan de Acción para las Energías Renovables en España y la verdadera evolución de la cobertura energética mediante energías renovables según estudios del Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético, desde el año 2010 hasta el año 2017.

Como podemos observar existe una gran diferencia entre la trayectoria descrita y la realidad, esto se debe a que las medidas descritas en el PANER no se han aplicado en su plenitud o directamente no se han aplicado.

Si analizamos las medidas a llevar a cabo con respecto a las energías renovables, se menciona la necesidad de una evolución hacia un sistema de transporte y distribución inteligente, gestionado mediante las llamadas “*Smartgrids*”, además del aumento de interconexiones con Francia para gestionar el excedente y las situaciones de desabastecimiento.

En primer lugar, en España las *Smartgrids* solo existen como pequeños proyectos de investigación entre los que destaca el Cecovel (centro de control del vehículo eléctrico) que ha sido todo un éxito, pero ahora Red Eléctrica de España pretende su implantación para el año 2025 a través del proyecto “Redes 2025”, el cual realizará una revolución en el transporte y distribución de energía en España.

Con respecto a las interconexiones internacionales, España está conectada con Marruecos, Portugal, Andorra y Francia. Con esta última la interconexión fue inaugurada en el año 2015 por Red Eléctrica de España y su homólogo francés, Réseau de Transport d'Électricité. Tras esta conexión el saldo importador-exportador se volvió negativo tras trece años consecutivos siendo positivo, el aumento de las interconexiones no tiene que ser motivo para la reducción de la producción eléctrica, si no que más bien debe ser una oportunidad que nos permite gestionar la demanda que puedan llegar a generar determinadas formas de producción como puede ser la energía solar fotovoltaica.

Se pretendió aumentar también la capacidad de almacenamiento energético, el cual se realiza en España mediante tres métodos diferentes:

- A gran escala (GW): hidroeléctrica reversible (bombeo), almacenamiento térmico.
- Almacenamiento en redes (MW): pilas y baterías; condensadores y superconductores; volantes de inercia.
- A nivel de usuario final (kW): baterías, superconductores, volantes de inercia.

Se puso en marcha el proyecto Almacena consistente en una solución de almacenamiento electroquímico de energía conectada a la red, así como la instalación de un prototipo de volante de inercia en las Islas Canarias que permitiría gestionar el excedente de las energías renovables durante parte del día, pero la no finalización del mismo junto con el escaso desarrollo durante estos últimos años de baterías con la capacidad suficiente como para almacenar grandes cantidad de energía ha provocado que la integración de las renovables no haya podido ser total.

En el PANER también se propuso fomentar las instalaciones de autoconsumo energético mediante energías renovables facilitando los trámites administrativos de las mismas, pero la única medida que se ha llevado a cabo en este aspecto es la eliminación del llamado “impuesto al sol” y como podemos observar en el siguiente gráfico realizado con datos aportados por Red Eléctrica de España no fueron suficientes para que el autoconsumo juegue un importante papel en el abastecimiento energético español.

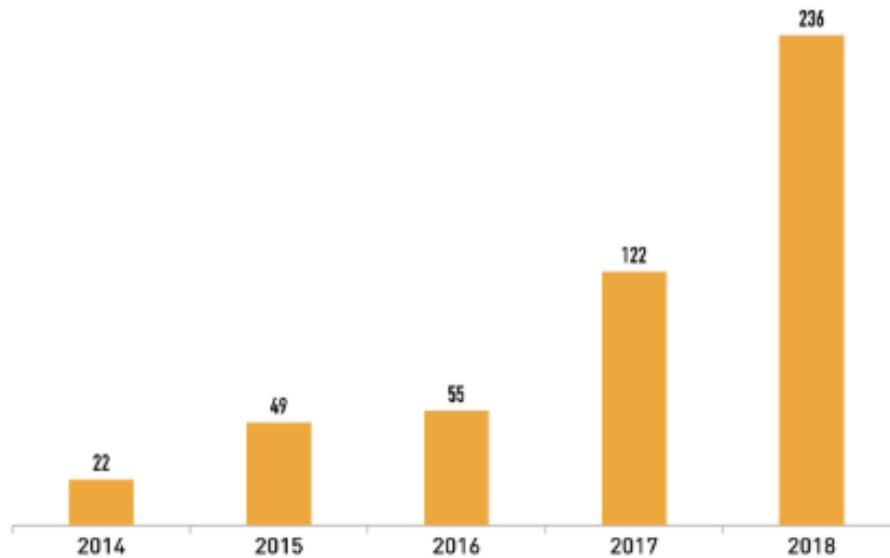


Ilustración 20. Estimación de la potencia instalada de autoconsumo fotovoltaico.
Extraído de UNEF.

Como podemos ver no todas las medidas desarrolladas en el PANER se han llevado a cabo en su plenitud, es por ello que la trayectoria que se describió entonces no se aproxima para nada a la realidad del sector energético español, llegando incluso a distanciarse en el año 2017 en casi un 7% en la cobertura energética mediante renovables con respecto a las previsiones realizadas.

2.2 Autoconsumo eléctrico.

Como se ha podido observar el sector energético en España presenta diversos problemas, una de las soluciones que permitiría aprovechar los recursos energéticos abundantes en España, como puede ser la energía solar y reducir así la dependencia energética del país, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles para la producción eléctrica es el autoconsumo eléctrico mediante una instalación de placas fotovoltaicas.

El autoconsumo fotovoltaico consiste en producir electricidad mediante una instalación de paneles solares que permita suministrar a una infraestructura determinada, como pueden ser viviendas, oficinas, plantas industriales... de parte o incluso la totalidad de su demanda eléctrica.

Normalmente estas instalaciones se suelen situar en el tejado de la infraestructura a la que está destinada a suministrar la electricidad, pero con el objetivo de poder producir y cubrir la totalidad de la demanda eléctrica de infraestructuras de alto consumo como pueden ser plantas industriales se ha desarrollado en los últimos años el llamado “*autoconsumo remoto*”.

Según comenta Piet Holtrop fundador de HOLTROP S.L.P Transaction & Business Law en el Periódico de la Energía a fecha 22 de noviembre del 2017, en el artículo “Autoconsumo remoto”, si revisamos la Ley del Sector Eléctrico o el Real Decreto 900/2015 esta modalidad de autoconsumo no es considerada como tal en términos jurídicos. No obstante, la forma la que se lleva a cabo se asemeja mucho al autoconsumo tradicional. Tiene una multitud de ventajas que lo hacen muy atractivo a la hora de pensar en suministrar infraestructuras de alto consumo, como la libertad a la hora de la ubicación de la instalación (lo que evita las restricciones técnicas en cuanto a los tejados) y la inexistencia de restricciones con respecto a la potencia a instalar no existe ninguna restricción más allá del cumplimiento de la capacidad contratada a la distribuidora, el único requisito a cumplir es que la instalación debe estar conectada a la red de distribución y transporte de España.

Para crear un sistema de autoconsumo remoto se debe configurar un consumidor directo conectado a media o alta tensión a red de distribución y una o varias instalaciones conectadas a la tensión que sea, pero nunca red interna. El titular del punto de suministro y del punto de vertido es el mismo por lo que no se factura a sí mismo coste alguno por la electricidad, es por ello que el *modus operandi* del autoconsumo remoto es similar al del autoconsumo tradicional.

El ahorro es considerable ya que la factura de la luz se limitaría al peaje de acceso a la red y el mantenimiento de la propia instalación fotovoltaica, además si es propietario de estas instalaciones está autorizado a negociar el excedente eléctrico generado con otros consumidores directos.

No obstante, el autoconsumo tradicional, es decir, las situaciones en las que la instalación encargada de producir la electricidad está situada en la propia infraestructura, podemos diferenciar tres tipos fundamentales de autoconsumo en función del grado de dependencia de la red eléctrica tradicional:

- Autoconsumo aislado: nos referimos a este tipo de autoconsumo cuando no existe ningún tipo de conexión con la red eléctrica, es decir, son instalaciones totalmente independientes que tienen que asegurar el suministro eléctrico durante las 24h, por ello es imprescindible que dispongan de sistemas de almacenamiento que permitan gestionar el excedente para momentos del día donde la demanda supere la producción.

Este tipo de autoconsumo no es una opción a considerar en instalaciones de alto consumo que requieren de electricidad las 24h del día en grandes cantidades, en primer lugar, por la evidente posibilidad de apagones y situaciones de desabastecimiento y en segundo lugar por el alto coste de los sistemas de almacenamiento que serían necesarios para llevarlo a cabo en este tipo de instalaciones e infraestructuras.

- Autoconsumo conectado a la red: es un tipo de autoconsumo que está conectado tanto a una red interna como a la red eléctrica tradicional de transporte y distribución. Puede disponer de baterías que permitan aprovechar la mayor cantidad de electricidad generada posible, pero esta vez no son indispensables para garantizar el suministro continuado de electricidad.

La conexión con la red eléctrica física permite abastecer la infraestructura en situaciones donde las condiciones meteorológicas o problemas en la propia instalación obligan a recurrir a ella.

- Autoconsumo conmutado a la red de electricidad: al igual que el anterior las infraestructuras que hacen uso de este tipo de autoconsumo están conectadas tanto a la red eléctrica como a la red interna de distribución, la diferencia se basa en que disponen de un conmutador aparte o integrado en el inversor que conmutan la instalación solar con la de la red en 10 milisegundos que impide la conexión simultánea en ambas redes (los generadores no pueden estar trabajando en paralelo con la red eléctrica).

El conmutador otorga el estatus de aislado de la red ya que su principal función es separar (aislar) el dispositivo de la red. Las baterías de acumulación de energía son imprescindibles en este tipo de instalación.

A la hora de establecer una instalación de autoconsumo fotovoltaico hay una serie de factores tanto positivos como negativos que son necesario tener en cuenta y analizar antes de su construcción.

2.2.1 Ventajas del autoconsumo fotovoltaico.

En la siguiente tabla se han reunido los principales separándoles en las principales ventajas y desventajas que nos proporcionan este tipo de instalaciones:

VENTAJAS	
1-	Tiene varias aplicaciones.
2-	Se puede llegar al autoabastecimiento.
3-	Abundantes recursos en España.
4-	Tecnología "barata".
5-	Escaso mantenimiento.
6-	Aumento del valor de la propiedad.
7-	Ahorro energético y económico.
8-	Contribución a la descarbonización y mejora de la calidad del aire.
9-	Ayuda al cumplimiento de los objetivos locales nacionales y europeos en materia de renovables.
10-	Reduce las inversiones asociadas a la red de distribución, invirtiéndose en la eficiencia del propio sistema.
11-	Empodera a los consumidores frente a las grandes eléctricas.

Tabla 7. Ventajas del autoconsumo fotovoltaico. Elaboración propia.

A continuación, se va a explicar por qué estas afirmaciones son considerados factores positivos a la hora de establecer una instalación de autoconsumo mediante placas fotovoltaicas:

1- *“Tiene varias aplicaciones”.*

En este caso se analiza el uso de este tipo de instalaciones para abastecer a una determinada infraestructura de electricidad, pero este tipo de instalaciones también pueden ser utilizadas con otros propósitos como calentadores o calefactores almacenando el calor proveniente de los rayos del sol.

2- *“Se puede llegar al autoabastecimiento”*

Como se ha analizado en el anterior apartado, existen sistemas de autoconsumo fotovoltaico que son totalmente independientes de la red eléctrica. No obstante, para lograr dicha independencia es importante tener en cuenta una serie de factores:

- El consumo y necesidades de la infraestructura a abastecer: la electricidad producida en las instalaciones de autoconsumo está directamente supeditada a las condiciones meteorológicas, es por ello, que si la infraestructura a abastecer requiere de grandes cantidades de electricidad a lo largo del día, resulta prácticamente imposible lograr la independencia total de la red eléctrica tradicional.
- Los sistemas de almacenamiento necesario: este tipo de instalaciones no están generando electricidad durante todo el día (o al menos no al mismo nivel), por lo que será necesario un sistema de almacenamiento (con el coste que este implica), para gestionar el excedente producido durante el día para utilizarlo en los momentos donde la curva de producción desciende.

3- *“Abundantes recursos en España”.*

La abundancia de sol en España es un hecho evidente, su localización geográfica proporciona unas condiciones únicas en lo que recursos renovables respecta. Pero a diferencia de otras fuentes de energía, la energía solar depende directamente de las horas de sol y de la fuerza con la que los rayos se proyectan para un aprovechamiento óptimo. Es fundamental conocer como sacar el máximo partido a esta energía.

Las horas de sol aprovechables dependen de la ubicación geográfica y de la climatología, esta última variable, se escapa de nuestro alcance, pero siempre se debe contar con los pronósticos que meteorólogos proporcionan. Sin embargo, si se puede conocer con bastante exactitud las horas de sol que se van a proyectar a lo largo de un año en el territorio español.

Las instalaciones solares utilizan un dispositivo llamado *“heliógrafo”* que permite controlar cuando las placas están recibiendo radiación solar directa, es decir en un día nebuloso, la radiación que llega a las placas es difusa, por lo que el heliógrafo se detiene.

Si analizamos un estudio de los datos de insolación anual proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional obtenemos las siguientes conclusiones:

En el territorio peninsular la cantidad de sol recibido aumenta de norte a sur, pero no de forma constante. Los valores mínimos se alcanzan en la zona del Cantábrico, en Galicia y alto Ebro donde se alcanzan entre 1.600 y 2.000 horas de sol al año. Los máximos en Sevilla, Badajoz, Almería y Alicante, con valores que superan las 2.800 horas de luz solar. Mientras que en los territorios insulares destacan los valores obtenidos para Tenerife con 3000 horas de luz solar, las Islas Baleares tienen una media de unas 2700 horas de sol.

Analizando los datos acerca de la insolación anual en Castilla y León obtenemos un total de 2539 horas de sol al año este dato está mucho más cerca de los valores máximos del sur.

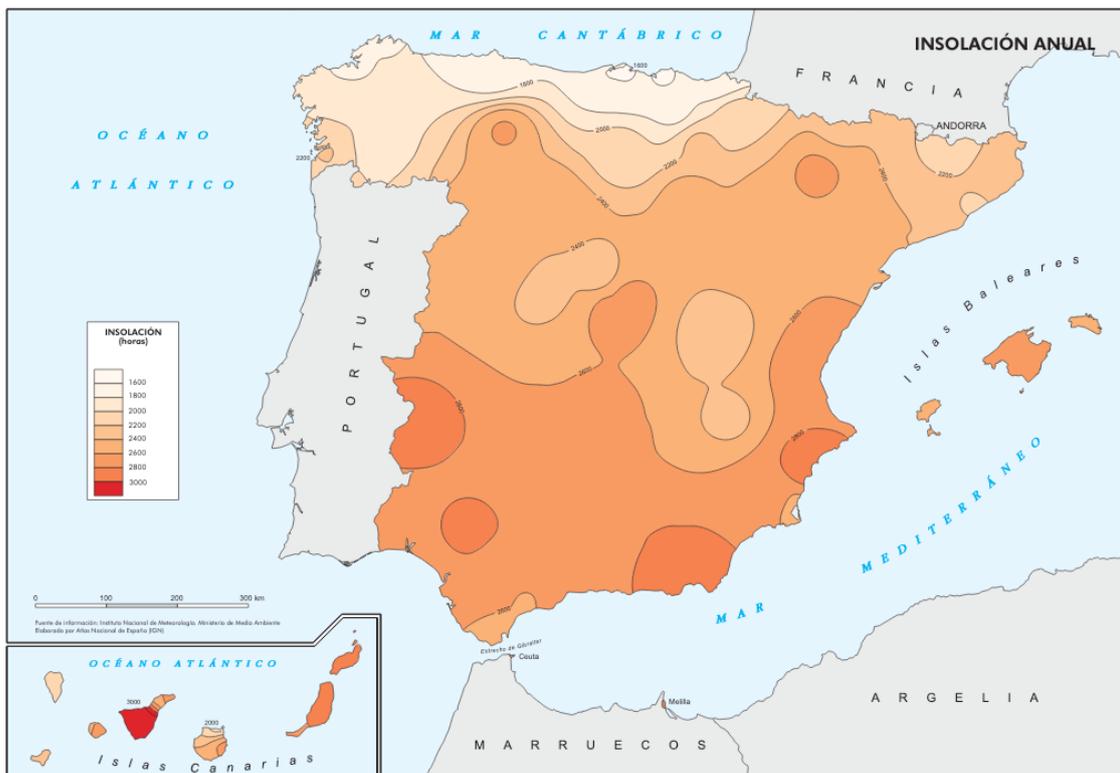


Ilustración 21. Horas de sol en el territorio español. Extraído del Instituto Geográfico Nacional.

En concreto desglosando los datos del Instituto de Geográfico Nacional se han obtenido las horas de sol en la provincia de Valladolid a lo largo del pasado año 2018:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Horas de sol	100	141	209	222	260	310
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horas de sol	352	330	244	176	114	81

TOTAL HORAS DE SOL EN 2019	
2539	

Tabla 8. Horas de sol en la provincia de Valladolid. Elaboración propia.

4- "Tecnología de bajo coste".

En los últimos años el coste de los paneles fotovoltaicos ha disminuido un 20% con respecto al precio de inicio. La gran demanda surgida en países como China, India y Alemania ha llevado a la industria a una mejora en la tecnología de fabricación de los paneles haciéndoles más eficientes y baratos.

El coste de la tecnología solar fotovoltaica se calcula por \$/W (dólar/potencia), es decir, se indica el dinero que cuesta generar un vatio de potencia eléctrica con esta tecnología.

En el siguiente gráfico podemos ver la evolución del precio de los paneles solares en los principales países fabricantes y consumidores.

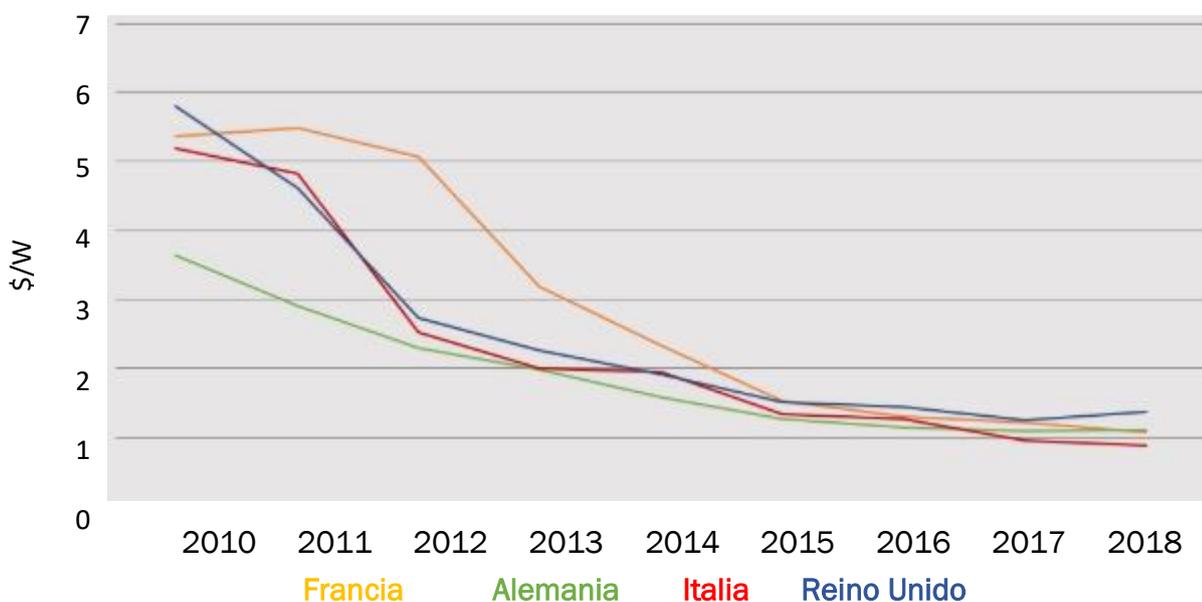


Ilustración 22. Evolución del precio del panel fotovoltaico (2010-2018). Extraído de Hogarsense

Como podemos observar actualmente el precio se encuentra estabilizado y no se espera que el precio disminuya mucho más, pero las nuevas investigaciones para dispositivos de huecos cuánticos o incluso la composición de paneles con capas multispectrales podrían abaratar incluso más esta tecnología.

5- “Escaso mantenimiento”.

La eficiencia en la generación eléctrica de los paneles solares no solo depende de las horas de sol y condiciones meteorológicas, ya que a pesar de ser dispositivos diseñados para pasar largos periodos de tiempo a la intemperie existen otros factores que son objeto de vigilancia y control por parte del usuario, estos influyen de manera clave en su rendimiento.

Uno de los factores más importantes que podemos considerar de “mantenimiento” es la orientación de los paneles solares, tendrá una clara influencia en el rendimiento del mismo, ya que la situación del sol con respecto a la posición de los paneles va variando a lo largo del año con el transcurso de las estaciones. Puede que no podamos reorientarlos por el tipo de panel o directamente por la falta de espacio, en esos casos debe estudiarse en su periodo de construcción la orientación con la que debe colocarse para que su eficiencia sea la máxima posible.

El polvo y la suciedad es otro factor a tener muy en cuenta, ya que pueden reducir su rendimiento en un 8%. Lo normal es limpiarles 4 veces al año y se debe hacer simplemente con agua y jabón, nunca con elementos abrasivos.

6- “Aumento del valor de la propiedad”.

Obviamente una inversión de estas características aumenta el valor de una infraestructura, pero ¿En qué tanto por ciento aumenta el valor de la misma? ¿Es realmente rentable?

A continuación, se analizan los resultados de dos estudios diferentes uno en Estados Unidos y otro en Méjico dos mercados inmobiliarios completamente diferentes:

- En Estados Unidos el informe “Selling Into the Sun” (2015) del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley analizó las ventas de viviendas con paneles solares durante once años, estas instalaciones fotovoltaicas siempre eran en propiedad, nunca arrendadas. El hallazgo clave fue descubrir que los compradores están dispuestos a pagar primas por una vivienda con instalación fotovoltaica, en concreto 4\$ de media por capacidad solar instalada, es decir, para un sistema estándar de 6 kW añadiría unos 24.000\$ al valor de la vivienda. Teniendo en cuenta el valor medio de una vivienda en Estados Unidos esto supondría un incremento del valor de la vivienda en un 4-5%.
- De acuerdo con el Laboratorio Nacional de las Energías Renovables de Méjico (NREL), el valor de las propiedades con instalaciones solares es mayor al precio promedio del resto de las propiedades de la misma zona. En concreto un 3-4%.

Siempre en viviendas cuyo sistema solar fotovoltaico sea en propiedad y no arrendado.

Estos datos hacen referencia al mercado inmobiliario de viviendas, pero es perfectamente aplicable al incremento de valor que pueden tener instalaciones industriales.

Según un artículo de Moove magazine el hecho de no depender al 100% de una compañía eléctrica y la sostenibilidad son los factores que llevar al comprador a pagar un precio superior por este tipo de infraestructuras.

7- *“Ahorro energético y económico”.*

El ahorro energético es indiscutible entre otros factores debido a la inexistencia una red de distribución, en la que en mayor o menor medida siempre se producen pérdidas.

A la hora de hablar de ahorro económico es importante diferenciar entre dos casos principales, ya que las cifras de ahorro oscilaran mucho de uno a otro:

- En un primer caso supongamos que tenemos un kit fotovoltaico completo con baterías, que nos permiten desconectarnos de la red eléctrica, es decir, ser autosuficientes eléctricamente hablando, la inversión inicial a realizar será importante y cambiará en función de la capacidad de pico y las baterías necesarias. La inversión realizada estaría amortizada en unos 18 años, teniendo en cuenta que la vida útil de la instalación es de unos 30 existirían 12 años donde la electricidad consumida es de coste cero.
- En un segundo caso en el que se siga conectado a la red eléctrica, la inversión será mucho menor y se amortizará más rápido, a los 6 años más o menos, sin embargo, nos reportara menos ahorro a partir de la fecha de amortización.

8- *“Contribución a la descarbonización y mejora de la calidad del aire”.*

La instalación de una planta fotovoltaica de autoconsumo implica la disminución de la combustión de combustibles fósiles de tal manera que se contribuye a la mejora de calidad del aire que respiramos.

Según Jesús Román, Secretario General de FENIE y Sergio Pomar, presidente de la Fundación FENIE Energía. Una instalación de autoconsumo fotovoltaica evita alrededor de una tonelada de CO₂ al año por kW instalado, por lo que se contribuye a disminuir de manera importante la emisión de gases efecto invernadero.

9- *“Ayuda al cumplimiento de los objetivos locales nacionales y europeos en materia de renovables”.*

Actualmente el alto consumo de combustibles fósiles en España pone realmente complicado la consecución de los objetivos fijados por la Unión Europea.

Según la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA) en 2018 las energías renovables solo suponían el 13,9% del total de fuentes de energía primaria consumidas en España. Uno de los compromisos asumidos por España es que en este año 2020 el 20% de consumo final bruto de energía provenga de fuentes renovables. Objetivo que se antoja muy complicado, pero aún más complicado es alcanzar el objetivo fijado para el 2030 del 27%.

10- *“Reduce las inversiones asociadas a la red de distribución, invirtiéndose en la eficiencia del propio sistema”.*

Al establecer una instalación de autoconsumo fotovoltaico se genera un sistema distribuido de generación eléctrica que reduce la necesidad de invertir en nuevas redes de distribución eléctrica y reduce las pérdidas de energía por el transporte de electricidad a través de la propia red.

Según un artículo de Antonio Barrero F. en Energías Renovables la Red Eléctrica de España no está preparada para llevar a cabo todos los proyectos que se la requieren. De hecho, en el pasado 2019 la inversión en redes ha disminuido en 25 millones de euros, en otros términos, mientras que en 2018 el 63,82% del total de inversiones se destinaron a la ampliación de la red de distribución eléctrica en el 2019 solo se destinó el 50,66%, esta cifra ya se redujo en un 8% del 2017 al 2018, una bajada muy significativa.

Pero es cierto que a pesar de ser esta disminución en la inversión en España solo en el 2019 se conectaron más de 1.541 megas de potencia solar lo que quiere decir que la REE está priorizando en conectar a la red de distribución eléctrica instalaciones fotovoltaicas. Además, hay más de 100.000 megavatios de potencia en trámite con la REE pendientes adquirir los permisos de acceso y conexión.

11- “Empodera a los consumidores frente a las grandes eléctricas”.

Es importante señalar que España es el tercer país de la Unión Europea con la factura de la luz más cara solo por detrás de Alemania y Portugal, a continuación, vamos a analizar por qué se produce esto y así entender la importancia de que el consumidor adquiera poder frente a las grandes eléctricas que operan en el territorio nacional.

Simplificando mucho el mercado eléctrico español, podríamos decir que en definitiva unos producen el bien (Productores) y otros los consumen (Consumidores); entre el origen y el final hay varias fases intermedias como son: el transporte (Transportistas), distribución (Distribuidoras), venta (Comercializadoras) y organismos encargados del control de la producción y precio de mercado (Reguladores y Operadores de mercado).

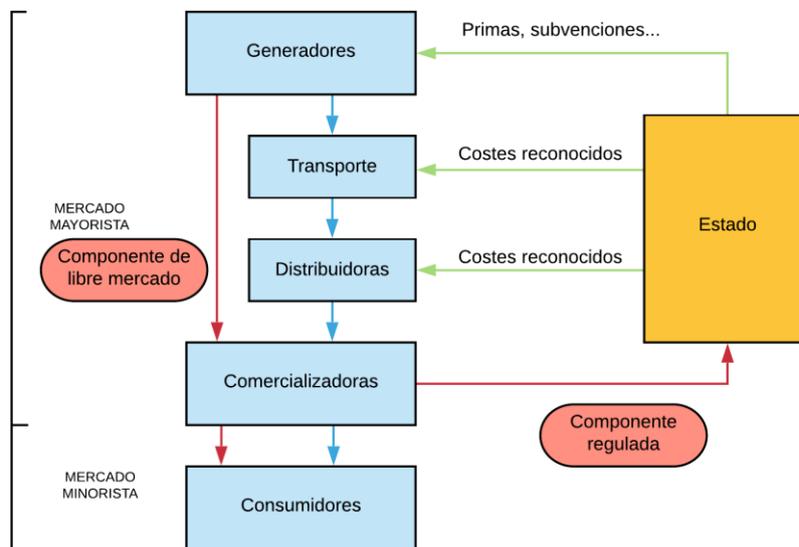


Ilustración 23. Cadena de valor del mercado eléctrico. Elaboración propia.

Para entender el funcionamiento del mercado eléctrico es necesario volver al pasado y explicar su funcionamiento antes de su liberalización en 1997. Entonces, existía total intervención por parte del estado a través del Marco Legal Estable que aseguraba a las eléctricas unos beneficios aceptables y la recuperación a largo plazo de la inversión en sus infraestructuras, así como tarifas a coste mínimo para el consumidor. Los consumidores pagaban la Tarifa Integral la cual era resultado de dividir los costes totales entre el total de la demanda.

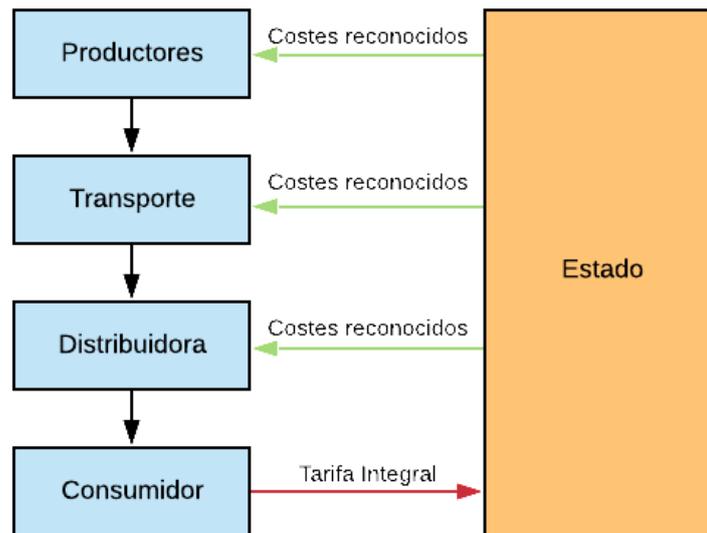


Ilustración 24. Cadena de valor del mercado eléctrico antes de su liberalización en 1997. Elaboración propia.

A partir de 1997 hasta 2009 comienza un proceso de liberalización del mercado dando lugar al Mercado Ibérico de la Electricidad (MIBEL). El objetivo es que las decisiones que antes estaban sujetados al estado ahora estuviesen expuestas al libre mercado.

El estado sigue siendo responsable del transporte y mantenimiento de las redes mediante Red Eléctrica España y se liberaliza así la generación y comercialización. Ya no se asegura a las productoras beneficios mínimos ni la recuperación de sus inversiones.

Ahora los consumidores no pagan la antigua Tarifa Integral, sino que escogen una comercializadora en el mercado minorista que se encarga de obtener la energía en el mercado mayorista (pool) de las distribuidoras.

La mayor diferencia que supuso esta liberalización se basa en cómo se compone el precio del KW/h, que a partir de 1997 tiene dos componentes diferentes:

- Componente regulada: destinada a cubrir los costes del propio sistema de transporte y otros incentivos como pueden ser el incentivo a la disponibilidad o las primas de régimen especial.
- Componente de mercado: obtenida por mecanismos de libre competencia en el mercado mayorista. Donde intervienen dos actores principales:

Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE): es el operador del mercado eléctrico que decide el grueso de la energía vendida para cada hora del día.

Red Eléctrica Española (REE): gestiona los Mercados de Operación.

Para la fijación del precio de la luz la OMIE realiza dos tipos de subastas: diarias e intradiarias.

- **Subasta diaria:** aquí productores y distribuidores acuerdan (para cada hora del día) la cantidad de energía necesaria y el precio de venta. Este acuerdo es chequeado por Red Eléctrica Española de tal manera que si no es técnicamente viable por algún motivo como puede ser la falta de capacidad en puntos determinados, se encarga de aplicar las correcciones pertinentes, esto se denomina Mercado de Restricciones Técnicas. También puede ocurrir que no se cubra la demanda necesaria, ahí entraría el Mercado de Reserva. Tanto el Mercado de Restricciones Técnicas como el Mercado de Reserva está gestionado por Red Eléctrica Española.
- **Subasta intradiaria:** permite a los agentes que han participado en el mercado diario solventar incidencias debido a variaciones respecto a las previsiones de oferta y demanda, estos ajustes se realizan a lo largo de seis sesiones. Por último, aquí interviene el Mercado de Desvíos, gestionado por Red Eléctrica Española que se encarga de gestionar las modificaciones realizadas respecto al mercado diario.

El precio referencia acordado en el mercado diario, aunque no definitivo, nos dará una aproximación bastante exacta del precio que las distribuidoras tendrán que pagar a los productores por la electricidad, ese precio se obtiene mediante un sistema de subasta que funciona de la siguiente manera:

Por un lado, encontramos las **ofertas de generación** donde cada una de las unidades productoras oferta la cantidad de electricidad que puede y está dispuesta a generar a dicho precio, el cual depende exclusivamente de sus costes de oportunidad.

El hecho de que la oferta de generación este supeditada a los costes de oportunidad implica que a los costes variables que a dichos productores les supone generar dicha electricidad hay que sumarle los ingresos a los que renuncian por el simple hecho de producirla ahora y no en un futuro. Con el conjunto de todas las ofertas realizadas se crea la denominada curva de oferta eléctrica:

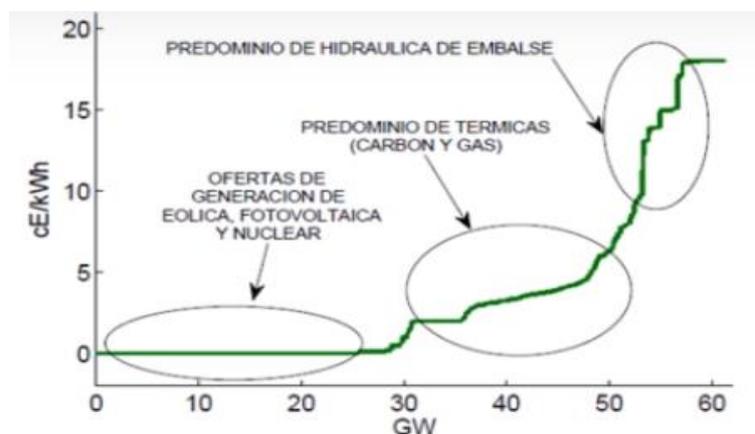


Ilustración 25. Curva de oferta eléctrica. Extraído de Plataforma SomeEnergía,

En segundo lugar, las **ofertas de compra** principalmente realizadas por las comercializadoras con el objetivo de abastecer la demanda, lo harán a un precio alto para asegurar que obtienen la energía que necesitan, después las centrales de bombeo e industrias programables, las cuales no tienen la estricta necesidad de comprar electricidad, realizaran ofertas a precios inferiores. Obteniendo así la curva de demanda:

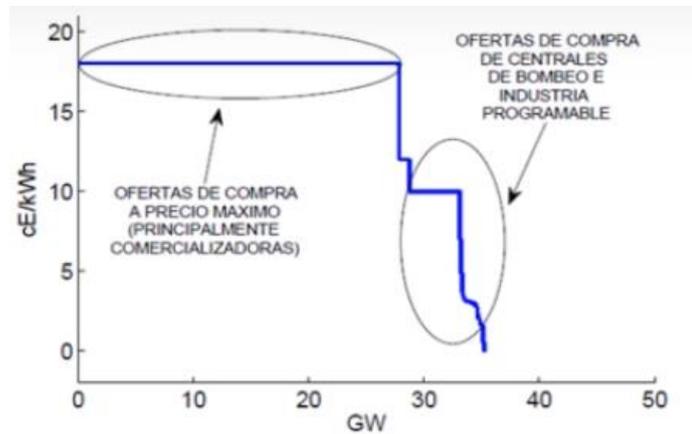


Ilustración 26. Curva de demanda eléctrica. Extraído de Plataforma SomeEnergía.

De esta manera la demanda se va cubriendo la demanda hasta que se alcanza el precio donde no hay más compradores dispuestos a pagar, llegando así a establecer la cantidad de energía casada al precio marginal.

El problema que presenta este sistema de preciación de la electricidad es obvio: el precio de la electricidad siempre viene fijado por las formas de generación eléctrica más caras.

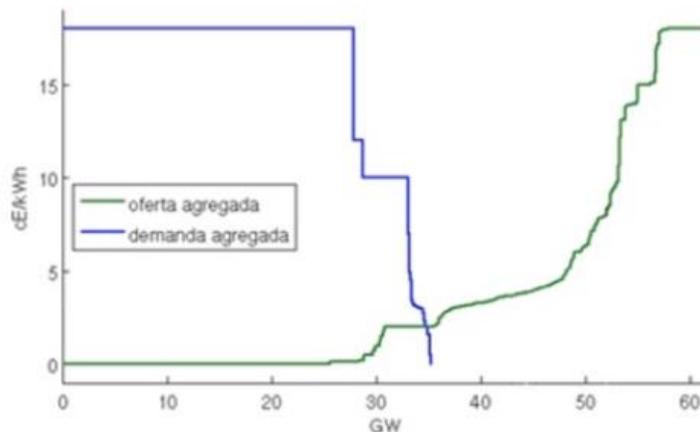


Ilustración 27. Energía casa y precio marginal de la electricidad. Plataforma SomeEnergía.

Los costes de oportunidad para las energías renovables son cero, ya que su combustible (sol, aire, mareas...) es gratuito, es decir, el hecho de no producir no aumentará la posibilidad de obtener un mayor beneficio en el futuro, por lo tanto, ofertaran a precio cero para asegurarse entrar en la casación.

Mientras que en otras formas de generación eléctrica como las hidráulicas regulables, el hecho de poder almacenar el agua en el embalse y así producir en otro momento donde el precio de la electricidad sea mayor, reporta un gran coste de oportunidad, porque saben que pueden vender su electricidad cuando haya escasez del resto de fuentes energéticas.

Lo mismo sucede con las centrales térmicas de carbón y fueloil si tienen oportunidad de vender su combustible a un tercero, el coste de oportunidad que les supone consumir dicha energía para la producción eléctrica es alto y por lo tanto lo ofertaran a un precio mayor del que pueden venderlo, encareciendo así el precio de la electricidad.

Existen ocasiones donde debido a determinadas condiciones climatológicas, las energías renovables son capaces de abastecer toda la demanda de electricidad, esto da lugar a una bajada importantísima del precio de la electricidad.

Pero imaginémonos como ha ocurrido en múltiples ocasiones que no pueden cubrir la totalidad de la demanda, pero si gran parte, por poner un ejemplo extremo pensemos que el 99% de la electricidad necesaria para un día en concreto proviene de fuentes renovables, pues ese 1% restante de la electricidad demandada, la cual se obtendrá por otro tipo de fuentes más caras, será el que marque el precio de la electricidad.

Esto es un sinsentido ya que día tras día el precio de la electricidad viene marcado por la forma de generación más cara sea cual sea la cantidad que esta aporta al total. Por ello es importante destacar la necesidad de un cambio en el sistema de preciación y la importancia de inversión en energías renovables.

Mientras este cambio no se produzca el autoconsumo fotovoltaico es una gran opción para adquirir poder frente a este sistema que encarece tanto la electricidad.

2.2.2 Desventajas del autoconsumo fotovoltaico.

Pero no todo son ventajas en cuanto al consumo fotovoltaico, también existen una serie de factores en contra a tener en cuenta para el desarrollo de este tipo de instalaciones, a continuación, se muestra una tabla donde se han reunido estas consideraciones y la forma de minimizar su impacto negativo a la hora de la establecer este tipo de instalaciones.

DESVENTAJAS
1- Fuente de energía intermitente.
2- El impuesto al sol.
3- La gran inversión inicial.
4- El reciclaje de los elementos utilizados.

Tabla 9. Desventajas del autoconsumo. Elaboración propia.

1- “Fuente de energía intermitente”.

La intermitencia es sin duda el mayor problema en lo que respecta a la energía solar en particular y al conjunto de las energías renovables, ya que solo se producen energía cuando existen condiciones favorables. Por lo tanto, es necesario un cierto nivel de previsibilidad o corremos el riesgo de apagones masivos o daños en la red debido a sobrecargas cuando se genera demasiada potencia.

Las empresas generadoras de energía deben trabajar para mantener una frecuencia de 50 Hz, por lo tanto, se debe controlar la potencia generada en función de las necesidades de la demanda. Esto es fácil de gestionar con las formas tradicionales de generación de energía, las cuales son controlables como el gas, pero es un problema para otras formas como la fotovoltaica.

Para combatir las situaciones en las que la producción excede a la demanda se utilizan subsidios como los “pagos de restricción”, estos pagos se cobran al cliente con el objetivo de que los propietarios de dichas plantas puedan dejar de producir energía en los momentos de sobrecarga sin ver mermados sus ingresos.

Pero en momentos de baja producción es cuando surge el problema, es por ello que actualmente es necesario confiar en otras fuentes de energía más fáciles de controlar para trabajar en conjunto con la generación de energía renovable, en España se suele utilizar la llamada “energía del gas”, esta energía permite producir y dejar de producir con poca anticipación. Esto provoca uno de los principales problemas con respecto a las renovables: cuanta más energía renovable consumimos, más plantas de gas (o similares) tenemos que construir para mantener el equilibrio.

Pero todos pensamos en una solución, que a priori, parece fácil y sencilla ¿Por qué no almacenamos la energía extra en momentos de sobrecarga en baterías y abastecemos la red en momentos de escasez de producción con dicha energía? Bien, la respuesta es sencilla: la tecnología necesaria para almacenar tal magnitud de energía no existe, es por ello que el desarrollo de esta tecnología será la característica definitoria de la gestión energética del siglo XXI.

Durante los últimos años se han realizado importantes avances en el funcionamiento de las centrales de producción eléctrica mediante fuentes renovables que permiten gestionar los apagones y sobrecargas, son las denominadas “Smart Grids”. Consisten en dividir la red central en numerosas celdas pequeñas que tienen la capacidad de trabajar de manera autónoma. Cuando se producen sobrecargas y cortes de red, estas celdas son capaces de restaurar todas las fuentes de energía y distribuir la energía entre los consumidores locales. En el núcleo de dicha red se encuentra un sistema de almacenamiento de la energía.

Las pruebas se están realizando mediante un mix de energías renovables (solar, eólica y biogás). La clave de este sistema se encuentra en el complejo algoritmo que utiliza para la gestión local de la energía, pero en el momento en el que el desarrollo de las baterías se realice a gran escala este algoritmo podrá desarrollarse a escala global, resolviendo así de manera eficaz el problema de la intermitencia en cuanto a energías renovables.

2- “El impuesto al sol”.

El impuesto al sol surgió en octubre del 2015 aprobado por el entonces Ministro de Industria, Energía y Turismo, José Manuel Soria, el destino del mismo parecía directamente abocado al fracaso con PSOE, Podemos y Ciudadanos en la oposición. Se estableció como una aportación que los titulares de instalaciones de autoconsumo solar fotovoltaico con una potencia superior a los 10KW debían pagar a modo de contribución al mantenimiento del sistema eléctrico español.

Pero tanto la oposición como las asociaciones de emprendedores de energías renovables, lo consideraban más bien una forma de asegurar los beneficios que las grandes eléctricas tenían ante la “amenaza” que para ellas supone autoconsumo energético.

El caso llegó al Tribunal Constitucional quien lo desestimo, considerándolo, así como una necesaria aportación a la red eléctrica española, ya que muchas instalaciones permanecen conectadas a la misma.

Pero el 5 de octubre de 2018, tres años más tarde de su introducción, la ministra Teresa Ribera anuncio el fin del famoso impuesto al sol, además de añadió en el mismo Real Decreto una serie de medias que fomentaban el uso de la energía solar y del autoconsumo fotovoltaico como son:

- Eliminación del contador de generación en instalaciones sin vertido.
- Instalaciones pequeñas e instalaciones no conectadas a red quedan exentas de pedir permisos a la compañía eléctrica.
- Compensación por la energía vertida para pequeños consumidores.
- Posibilidad de conectarse varias personas a una misma instalación.
- Reducción del precio de las multas por no cumplir los requisitos de la instalación.

La nueva regulación permitió desarrollar el llamado autoconsumo compartido, algo prohibido en la legislación de Soria y que el Tribunal Constitucional anuló en el 2017. Esto es realmente importante ya que el 65% de los españoles vive en edificios compartidos, por lo que su prohibición limitaba mucho las posibilidades de ser auto consumidor.

Por lo tanto, lo que empezó siendo una desventaja, ha llevado al fomento del autoconsumo fotovoltaico.

3- “La gran inversión inicial”.

Es cierto que para establecer una instalación de estas características es necesario realizar una importante inversión inicial, pero la rentabilidad está asegurada a largo plazo, es por ello que el autoconsumo es viable, legal, técnica y económicamente hablando.

Las grandes empresas que lideran la economía mundial estas apostando por las energías renovables y el autoconsumo fotovoltaico; compañías como Amazon, Google, Apple, Facebook... Ya han desarrollado proyectos de autoconsumo mostrando así su compromiso con la sociedad para hacer de su negocio un ejemplo de eficiencia económica y energética, respetando siempre el medioambiente.

Estas empresas han emprendido el camino debido a una serie de razones justificadas que explican el porqué de la rentabilidad asegurada de invertir en autoconsumo:

Las instalaciones de autoconsumo solar han bajado significativamente su precio en los últimos años y ya son inversiones de coste muy razonable.

La evolución tecnológica, el aumento de la demanda a nivel mundial y la sobreproducción en muchas ocasiones, han provocado que en los últimos diez años los componentes necesarios para la fabricación de estas instalaciones se han abaratado de una manera importante. En concreto, el precio de los paneles solares en este periodo se ha abaratado un 90%. De modo que, una instalación solar de 20kWp en la mayoría de los casos rondará los 30.000€ una inversión más que asequible para una industria cuya actividad sea sostenible.

Esto evita la necesidad de estructuras de financiación complejas ya que son instalaciones de coste razonable, competitivas sin ayudas ni subvenciones.

El autoconsumo nos permite ahorrar en el consumo de energía.

Básicamente cada kWh generado es un kWh que dejamos de comprar a las grandes eléctricas a precios desproporcionados. Con una instalación bien dimensionada y sin limitaciones de superficie nos proporcionara entre un 25%-40% de cobertura con su correspondiente ahorro en la factura de la luz.

Y por si fuera poco, la inversión en un sistema de autoconsumo, la mayoría de las veces acaba actuando como catalizador de otras medidas de eficiencia energética, y es que no hay nada como gastarse el dinero para tomar conciencia de la necesidad de ahorrar, curioso pero absolutamente cierto y empíricamente demostrable.

El autoconsumo nos permite ahorrar también en el término fijo de potencia

El término fijo de potencia supone el 50% del coste en nuestra factura eléctrica, por lo que si conseguimos ahorrar en este concepto el ahorro será más que significativo.

Las instalaciones de autoconsumo nos permiten comprar parte de la energía que consumiremos durante los próximos 25 años con un descuento superior al 50%.

Utilizando el termino LCOE (Levelised Cost of Energy) podemos calcular el coste de la generación eléctrica mediante diversas fuentes de energía en nuestro caso la solar.

¿Cómo funciona este término? Pues a nivel muy básico correspondería en dividir el coste de mi inversión más los costes de operación y mantenimiento de mi instalación solar a lo largo de la vida útil de la instalación, 25-30 años, y dividirlo entre la energía generada a lo largo de todo este tiempo (en realidad también se debe aplicar una tasa de descuento para llevar futuros costes a día de hoy). Con este cálculo obtenemos un precio €/kWh para la energía solar generada y lo podemos comparar con las expectativas de precio de electricidad a lo largo del mismo período temporal.

El siguiente caso corresponde a una instalación de autoconsumo de 100 kWp en una industria con tarifa de media tensión 6.1 A, a la que corresponden los precios más bajos de electricidad.

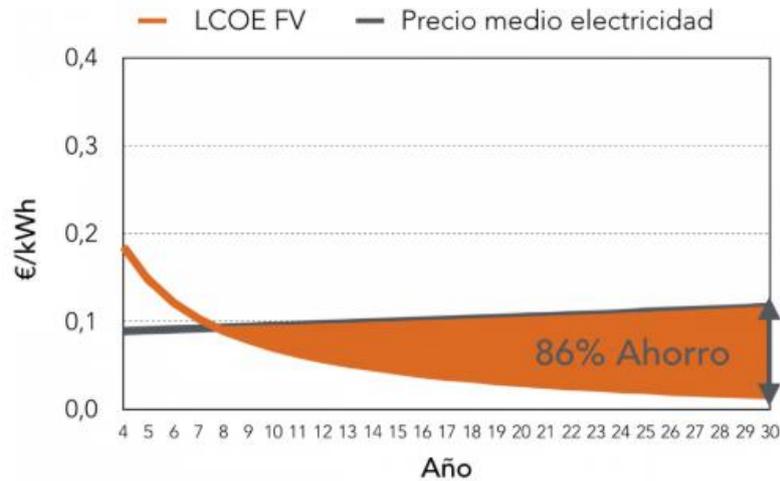


Ilustración 28. LCOE Fotovoltaico. Extraído de la Fundación para la Eficiencia Energética y Medio Ambiente.

Como podemos observar la instalación estaría amortizada en no más de 8 años, por lo que considerando la vida útil de la misma unos 30 años, se podría decir que con este tipo de instalaciones se disfruta de 22 años de energía a coste cero, logrando un ahorro del 86% en cada kWh consumido.

4- “El reciclaje de los elementos utilizados”.

La energía solar es 100% limpia pero el autoconsumo fotovoltaico no contribuirá sustancialmente a sustituir el actual modelo energético por uno completamente limpio y sostenible en términos medioambientales si no se consigue reutilizar de forma eficiente los materiales con los que están fabricados los equipos de instalaciones solares.

La gestión de los residuos electrónicos está regulada por la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (WEEE en inglés). Esta directiva vela por el tratamiento adecuado de los productos fotovoltaicos al final de su vida útil y responsabiliza a los fabricantes de esta tarea, a quien exige serios requisitos como: registrarse en todos los países de la Unión Europea en los que operen, comunicar periódicamente los volúmenes de venta y más importante aún: organizar y financiar la recogida y tratamiento de los módulos fotovoltaicos al final de su vida útil.

En España el Real Decreto 110/2015 en febrero de 2015 estableció la obligatoriedad de reciclar los materiales fotovoltaicos, responsabilizando al igual que la Unión Europea al fabricante de dicha tarea. Algo debe de estar funcionando bien puesto que, según Recycla y PV Cycle, sin duda las dos instituciones más importantes del reciclaje de materiales fotovoltaicos en nuestro país, España ocupa actualmente la tercera posición en capacidad de gestión de residuos de módulos fotovoltaicos en Europa.

Los paneles solares pueden reciclarse prácticamente al completo ya que están formados en un 75% de vidrio y un 9% de aluminio ambos fácilmente reutilizables.



Ilustración 29. Reciclabilidad de los componentes de un panel fotovoltaico. Extraído de Cambio Energético.

Respecto a las baterías, muchas veces utilizadas en este tipo de instalaciones, es importante destacar que los dos modelos más utilizados (baterías de plomo ácido y baterías de litio), presentan dos situaciones muy diferentes en cuanto a su reciclaje:

- Las baterías de plomo-ácido las cifras no mienten: en torno al 90-95% de las baterías que se reciclan a día de hoy son de este material, y es que el material de una batería de plomo puede reciclarse hoy día casi en un 100%, lo que lo dota de un alto valor comercial.
- Las baterías de litio compensan sus bajos índices de reciclado (sólo se recicla alrededor de un 5% de estos dispositivos y no en todos los países) con las virtudes propias del producto, entre ellas su mayor durabilidad, con una vida útil que puede alcanzar los 11-15 años. El litio es un elemento altamente reactivo, lo que le permite acumular mucha más energía que otros materiales y, por tanto, ofrecer un servicio con mayor número de ciclos y menores pérdidas de capacidad a lo largo de los años. Pero por consecuente su radioactividad dificulta reciclabilidad.

Por lo tanto, podemos concluir que el problema en el reciclaje de los elementos utilizados en una instalación solar fotovoltaica se encuentra en el uso de baterías, en concreto, baterías de litio por su alto componente radioactivo.

2.3 Normativa, procesos administrativos y requisitos técnicos.

Una vez estudiado el marco estatal y europeo en lo que a energías renovables en general y a energía solar en particular respecta, a continuación, se va a estudiar la normativa, procesos administrativos y las restricciones técnicas que es necesario cumplir para poder llevar a cabo una instalación de estas características.

El autoconsumo energético en España está definido y regulado mediante el Real Decreto Ley 244/2019. Su objetivo es regular los aspectos que habían quedado abiertos tras el antiguo Real Decreto Ley 15/2018, relacionados con configuraciones de medida, condiciones administrativas y técnicas para conexión a red, los mecanismos de compensación de excedentes para las instalaciones de autoconsumo, así como la organización de un registro de autoconsumo administrativo sencillo.

A continuación, con ayuda del artículo de Raúl German Cordero en el blog energético Sunfields Europe “¿Qué es el Autoconsumo Solar?” se van a extraer los aspectos más importantes, que determinan los procedimientos a realizar para establecer una instalación de autoconsumo fotovoltaico comprendidos en el Real Decreto Ley 18/2018 y 244/2019.

2.3.1 Tipos de autoconsumo

Con respecto al Real Decreto Ley 15/2018 se respetan los tipos de autoconsumo fotovoltaico definidos en él, pero aparecen nuevas subdivisiones. A continuación, se va a analizar los tipos de autoconsumo que se establecen en el Real Decreto Ley 244/2019:

- Autoconsumo sin excedentes: es decir, autoconsumo sin inyección a red, son aquellas instalaciones las cuales no pueden verter los excedentes a la red, de manera que es obligatorio instalar un sistema anti vertido. Solo existirá el sujeto consumidor el cual obligatoriamente tiene que ser el titular de la instalación de generación.
- Autoconsumo con excedentes: se pueden verter excedentes a la red. Existirán dos sujetos: sujeto consumidor y sujeto productor. Según el tratamiento que se les dé a los excedentes se divide en:

1. **Autoconsumo con excedentes acogida a compensación:** cuando el consumidor y productor opten por acogerse a compensación de excedentes. Las instalaciones deben cumplir una serie de características para considerarse esta opción:
 - Potencia de Producción <100 kW.
 - Cuando resulte necesario realizar un contrato de suministro para los Servicios Auxiliares de Producción, consumidor tenga un contrato conjunto con comercializadora para consumo y consumo de Servicios Auxiliares de Producción. Cabe destacar que los Servicios Auxiliares de Producción son los suministros de energía eléctrica necesarios para proveer el servicio básico en cualquier régimen de funcionamiento de la central (en carga, arranques, paradas y emergencias).
 - Se acojan al contrato compensación excedentes de autoconsumo o balance neto.
 - No haya régimen retributivo adicional o específico.
2. **Autoconsumo con excedentes NO acogida a compensación:** cuando no se cumplen los criterios mencionados anteriormente o voluntariamente no quieren acogerse a esta modalidad de autoconsumo. En este caso se recibirán las contraprestaciones económicas correspondientes por la energía eléctrica horaria vertida a la red.

Además, en este Real Decreto se establece una nueva clasificación en los sistemas de autoconsumo eléctrico completamente diferente a las anteriores:

- Autoconsumo individual: un consumidor asociado a una instalación de producción.
- Autoconsumo colectivo: varios consumidores asociados a una o más instalaciones de producción. En este caso, todos los consumidores participantes deberán pertenecer a la misma modalidad de autoconsumo y deberán comunicar de forma individual a la empresa distribuidora directamente o a través de la empresa comercializadora, un mismo acuerdo firmado por todos los participantes que recoja los criterios de reparto, que se explicará más adelante. Estos criterios de reparto se realizan mediante un coeficiente constante, de mutuo acuerdo o en función de las potencias contratadas por cada consumidor. A su vez las instalaciones autoconsumo colectivo pueden considerarse:

1. **Instalaciones próximas a través de red:** si la instalación es "próxima a través de red", el autoconsumo colectivo sólo podrá pertenecer al grupo con excedentes. Se establecen como instalaciones próximas a la red:
 - Consumidores que estén ubicados en la misma referencia catastral según sus 14 primeros dígitos.
 - Consumidores que estén conectados en BT y a una distancia menor de 500 m.
2. **Próxima de red interior:** si la instalación es "próxima de red interior y colectiva", podrá ser con excedentes o sin excedentes. Se consideran próximas a la red interior las instalaciones en las que:
 - Consumidores conectados a la red de BT derivados del mismo centro de transformación.
 - Instalaciones de autoconsumo que estén conectados a las redes interiores o conectadas por líneas directas.

2.3.2 Procedimiento de conexión, acceso, suministro y mecanismos de compensación en las modalidades de autoconsumo.

Los procedimientos para conseguir los permisos de acceso y conexión ya establecidos en el Real Decreto 15/2018 y los cuales no han sido modificados en el Real Decreto 244/2019 son los siguientes:

Procedimientos de conexión.

- Las instalaciones de autoconsumo sin excedentes solo necesitaran un permiso de acceso y conexión para sus instalaciones de autoconsumo.
- Las instalaciones de autoconsumo con excedentes con una potencia menor de 15 kW en suelo urbanizado al igual que las anteriores solo necesitaran el permiso de acceso y conexión para sus instalaciones.
- Autoconsumo con excedentes que no cumplan la condición anterior: deberán tener un permiso de acceso y conexión por sus instalaciones de consumo y también por cada una de sus instalaciones de producción próximas y asociadas a las de consumo (instalaciones próximas de red o a través de red) de las que sean titulares. Para instalaciones de autoconsumo compartido, los titulares deben de adjuntar en la solicitud de acceso y conexión cuando proceda (cuando sean con excedentes mayores de 15 kW en suelo no urbanizado), un escrito donde se acredite la autorización de los propietarios.

Contratos de acceso.

Por lo general los consumidores deberán notificar a la distribuidora, o en su defecto a través de la comercializadora, la modalidad de autoconsumo a la que se acogen para que modifiquen de oficio el contrato de acceso existente. Podemos diferenciar diferentes casos:

- Para el caso de instalaciones de generación de baja tensión, y sujetos consumidores conectados en BT con una potencia inferior a 100 kW, esta modificación del contrato será realizada por la distribuidora, con la documentación que le indique las CCAA a la empresa o titular que quiera instaurar una instalación de autoconsumo en un bien de su propiedad, con los siguientes plazos:



Ilustración 30. Plazos para la adquisición de contratos de acceso. Elaboración propia.

- Para el caso de las instalaciones de autoconsumo con excedentes no acogida a compensación y cuyos Servicios Auxiliares de Producción no sean despreciables, el titular de cada instalación de producción tendrá que realizar un contrato de acceso, o modificar el existente, para los servicios auxiliares de producción, directamente o a través de la comercializadora. Se podrá realizar un contrato de acceso conjunto para los Servicios Auxiliares de Producción y consumidor asociado cuando se cumplan las siguientes características:
 - La instalación sea próxima de red interior
 - Potencia de instalación < 100 kW
 - Energía consumida por dichos servicios auxiliares de producción sea inferior al 1% de la energía neta generada por la instalación. Cuando los Servicios Auxiliares de Producción no sean despreciables.
 - Las instalaciones de producción estén conectadas en la red interior del consumidor.
 - El consumidor y los titulares de las instalaciones de producción sean la misma persona física o jurídica.

Contratos de suministro.

Los contratos de suministro que se tengan con la empresa comercializadora deben de reflejar la modalidad de autoconsumo a la que se encuentra acogido. Así, la empresa distribuidora deberá comunicar al comercializador en un plazo de 5 días hábiles desde qué fecha comienza a ser efectiva la modalidad de autoconsumo al que el consumidor se ha acogido.

Mecanismos de compensación.

Sobre el mecanismo de compensación simplificada de excedentes, se realizará en términos económicos de energía consumida, entre los déficits de consumo y los excedentes producidos en un mes. Es facturación neta, no balance neto.

El valor del precio de la energía dependerá de si la comercializadora del contrato de suministro es libre o de referencia. Para lo cual, se deberá suscribir un contrato compensación excedentes de autoconsumo que se deberá remitir a la empresa distribuidora.

2.3.3 Requisitos técnicos.

Los sistemas de acumulación son necesarios en muchas ocasiones es por ello que se permite su instalación en todas las modalidades de autoconsumo, con las protecciones que les aplique. Se encontrarán instalados de forma que compartan el contador que registre la generación neta, el contador de punto frontera o contador de generación asociado.

De forma general, todas las modalidades de autoconsumo, necesitan de un contador en el punto frontera bidireccional. Además, tendrán que tener un contador de generación aquellas que:

- Sean autoconsumo colectivo
- Sean instalaciones próximas a través de la red
- En el autoconsumo con excedentes no acogida a compensación, no se disponga de un único contrato de suministro para los servicios auxiliares de producción.
- Instalaciones de generación de potencia aparente nominal igual o superior a 12 MVA.

A continuación, podemos observar el esquema eléctrico de una modalidad de autoconsumo con necesidad de un contador en el punto de frontera bidireccional:

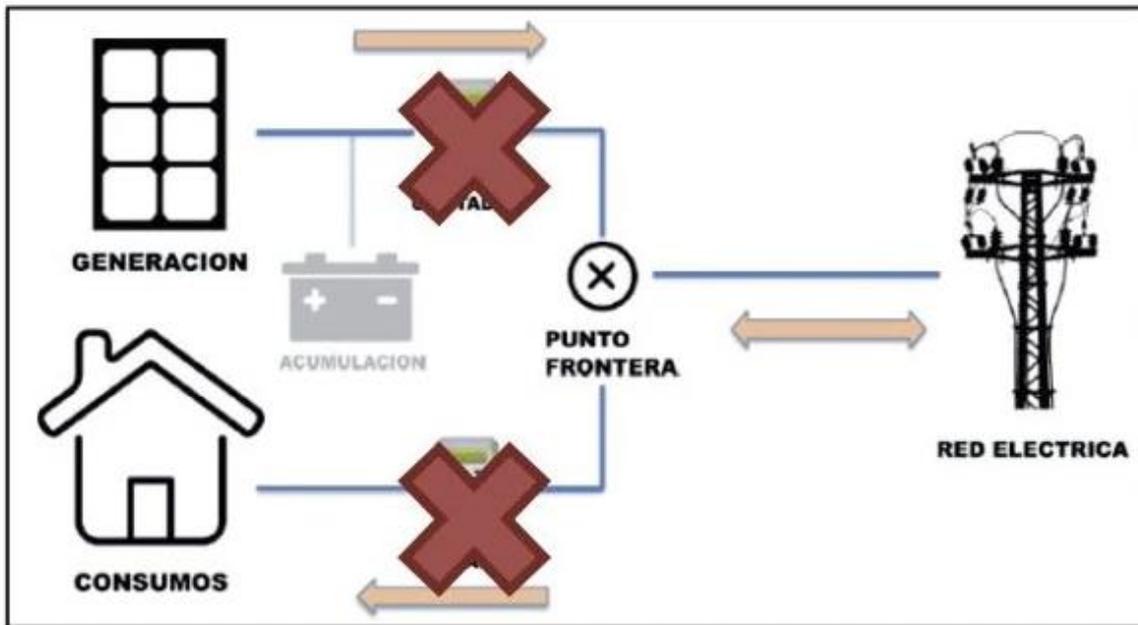


Ilustración 31. Esquema eléctrico de autoconsumo con contador en el punto de frontera bidireccional. Extraído de Sunfields.

Las instalaciones con necesidad de contador de generación tendrán el siguiente esquema eléctrico:

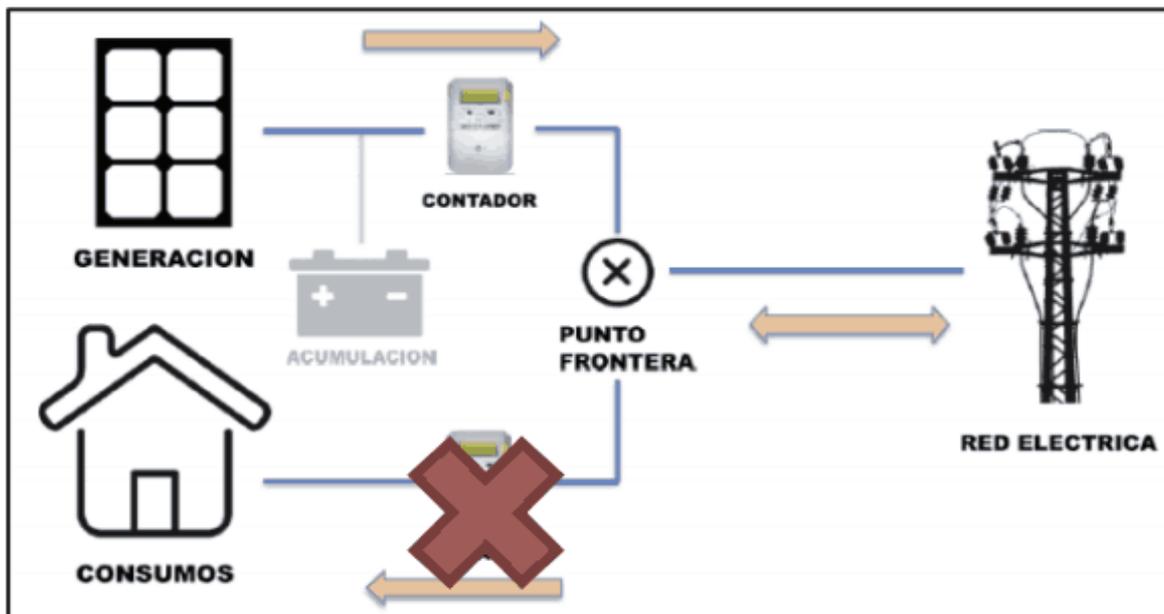


Ilustración 32. Esquema eléctrico de autoconsumo con contador de generación. Extraído de Sunfields.

Para el autoconsumo con excedentes no acogido a compensación, pueden acogerse con carácter potestativo a la siguiente configuración de medida:

- Equipo de medida bidireccional que registre generación neta.
- Equipo de medida que registre la energía consumida total por el consumidor asociado.

Así se podrá conocer cuanta energía procede del sistema de generación y cuanto de la red eléctrica tradicional. De tal manera que se establece el siguiente esquema eléctrico:

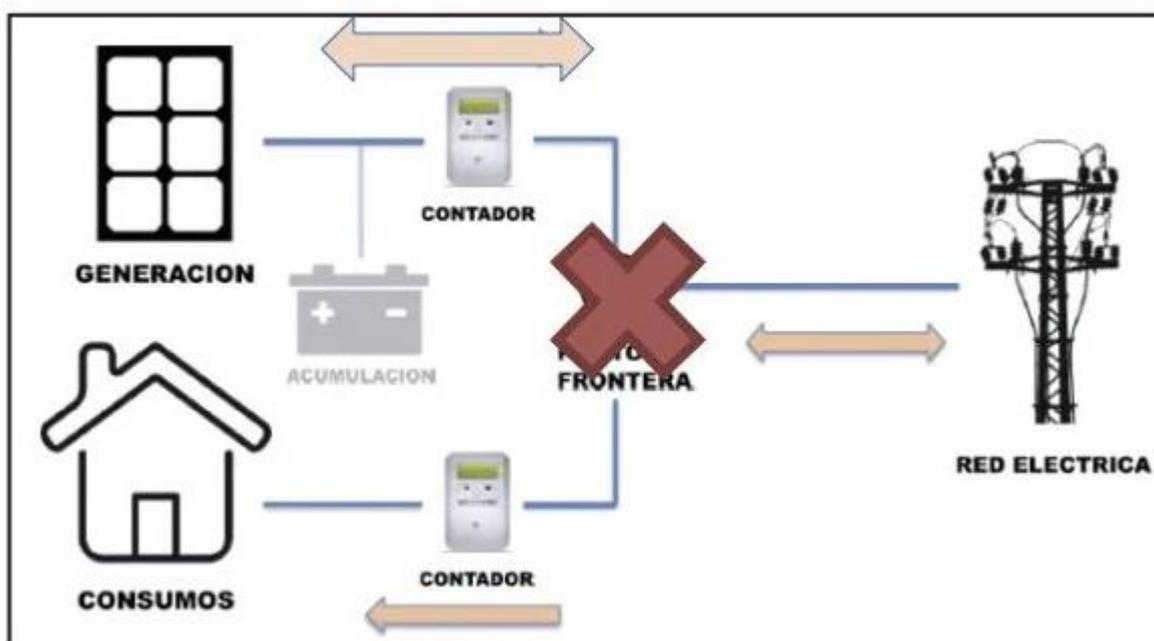


Ilustración 33. Esquema eléctrico de autoconsumo sin excedente. Extraído de Sunfields.

También existen una serie de restricciones de superficie a la hora de permitir la construcción de este tipo de instalaciones en inmuebles con determinados usos como podemos ver en la siguiente tabla:

Tipos de uso	Límite de aplicación
Hipermercado	5.000 m ² construidos
Multitienda y Centros de ocio	3.000 m ² construidos
Naves de almacenamiento	10.000 m ² construidos
Administrativos	4.000 m ² construidos
Hoteles y Hostales	100 plazas
Hospitales y Clínicas	100 camas
Pabellones de recintos feriales	10.000 m ² construidos

Tabla 10. Restricciones de superficie para la construcción de instalaciones de autoconsumo fotovoltaico. Extraído de la Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.

Estas restricciones establecidas en la “Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático” no afecta al ámbito de estudio, que son las instalaciones industriales.

Esta Guía se estableció un modelo de ordenanza municipal que Gobiernos Locales deben utilizar para la creación de sus propias Ordenanzas Municipales con sus restricciones específicas. En este documento también se establecen las condiciones para la instalación de placas fotovoltaicas en el caso de que se realicen en la cubierta del inmueble.

- Cubiertas inclinadas: podrán situarse paneles fotovoltaicos en los faldones de cubierta, con la misma inclinación de éstos y sin salirse de su plano, salvo en edificios catalogados, en cuyo caso se estará a lo que dictamine favorablemente el órgano competente en aplicación de la normativa urbanística de protección.
- Cubiertas planas. Los paneles solares deberán situarse dentro de la envolvente formada por planos trazados a 45° desde los bordes del último forjado y un plano horizontal situado a 3,75 m. de altura, medido desde la cara inferior del último forjado, en conformidad a la siguiente imagen:

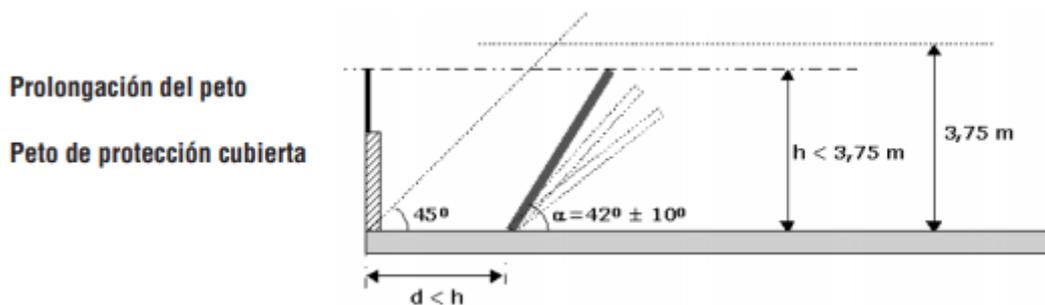


Ilustración 34. Condiciones para la instalación de paneles en cubiertas planas. Extraído de la Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático.

El peto de protección de cubierta deberá prolongarse con protecciones diáfanas estéticamente acordes al lugar, sin formar frentes opacos continuos, hasta la altura máxima del panel. No será necesario prolongar el peto citado siempre que la distancia (d), medida desde la parte más próxima del panel al plano de fachada, sea igual o superior que la distancia existente (h) entre la cara superior del forjado de cubierta y la parte más alta del panel.

En el caso de edificios catalogados, la solución que se aplique será la que dictamine favorablemente el órgano municipal competente en aplicación de la normativa urbanística de protección.

2.3.4 Proyecto de instalación.

Tal y como se establece en el artículo 3 “*Normativa sobre energía solar*” de la “*Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático*”, el proyecto de instalación vendrá suscrito por el técnico competente y visado por el Colegio Oficial correspondiente, conteniendo como mínimo:

- A) Memoria que incluya:
 - 1. Justificación de la solución adoptada.
 - 2. Configuración básica de la instalación.
 - 3. Descripción general de las instalaciones y sus componentes.
 - 4. Criterios generales de diseño: dimensionado básico, diseño del sistema de captación con justificación de la orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica, de acuerdo a lo establecido en el CTE o normativa posterior aplicable.
 - 5. Descripción del sistema de energía auxiliar.
 - 6. Justificación de los parámetros especificados en esta Ordenanza.
- B) Planos, incluyendo esquema de principio y/o esquemas unifilares del sistema de captación y/o producción de energía eléctrica con su dimensionado.
- C) Presupuesto de las instalaciones.
- D) Contrato de mantenimiento por tres años, incluyendo plan de vigilancia y de mantenimiento de acuerdo a lo establecido en el CTE o normativa posterior aplicable.



Capítulo 3: Autoconsumo de una industria mediante una instalación fotovoltaica.

En el siguiente capítulo se va a llevar a cabo un sistema de simulación que permite dimensionar una instalación fotovoltaica en función de las necesidades energéticas de una industria determinada, en cuanto a consumo eléctrico. El dimensionado de la planta fotovoltaica está basado en tres factores fundamentales que determinan la capacidad de producción eléctrica de una instalación de estas características:

- Localización: las coordenadas de latitud y longitud serán factores determinantes a la hora de conocer las horas sol pico de las que esa industria dispondrá.
- Condiciones climatológicas: en la tecnología fotovoltaica, el sol es el factor determinante que condicionará su rendimiento.
- Consumo industrial: como es lógico, las necesidades de cada industria variaran en función del consumo de la misma. Por lo tanto, la planta fotovoltaica deberá estar diseñada acorde a su consumo eléctrico industrial.

Para conocer como funciona una planta de estas características en primer lugar se estudiará como están fabricados y como generan electricidad a partir del sol los paneles fotovoltaicos.

3.1 Funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.

Para comprender y desarrollar la explicación acerca del funcionamiento de las placas fotovoltaicas se ha empleado la documentación obtenida a través del blog energético “La generación del sol”, el cual en su documento “*Funcionamiento general de una general de una instalación solar instalación solar fotovoltaica*” explica de manera intuitiva el funcionamiento de este tipo de instalaciones.

La tecnología de dichas instalaciones se basa en el principio básico del llamado efecto fotovoltaico, el cual se define como: “proceso por el que se produce la transformación directa en energía eléctrica de la radiación solar” este proceso tiene lugar en solidos líquidos y gases y para aprovecharlo es necesario el uso de semiconductores, que pueden ser de: silicio, arseniuro de galio, telurio de cadmio o disleniuro de indio y cobre, los más utilizados a nivel mundial son los primeros (silicio). Se utilizan este tipo de materiales ya que sus átomos son muy sensibles a la energía de los fotones de la radiación solar incidente sobre ellos.

Para entender como se produce la transformación de la radiación solar en energía eléctrica vamos a analizar el proceso en un átomo de silicio, semiconductor más utilizado en la fabricación de placas fotovoltaicas.

En su estado natural el átomo de silicio presenta el siguiente aspecto:

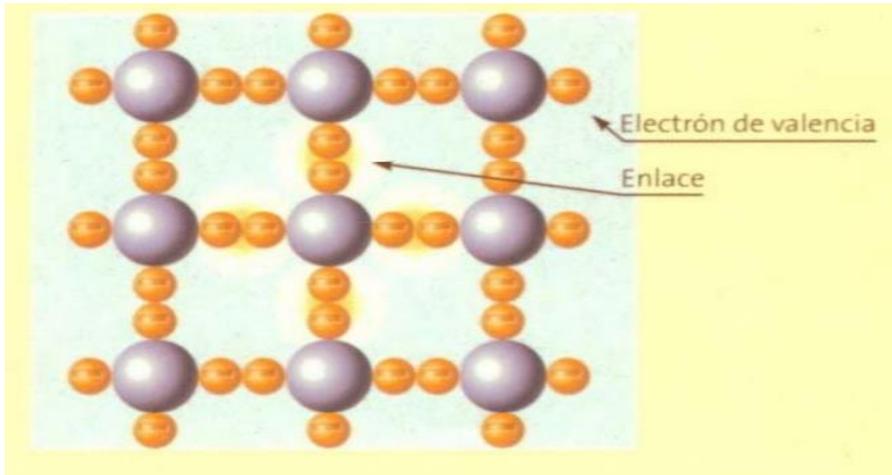


Ilustración 35. Estado natural del átomo de silicio. Extraído de La generación del sol.

En esta estructura los átomos de silicio están unidos entre sí, de tal manera que los electrones dentro de esta estructura no tienen libertad de movimiento.

Si a esta estructura la inyectamos átomos de fósforo de 5 electrones de valencia, es decir, dopaje tipo N, cuando la luz solar alcance a los electrones estos ganaran energía fotónica, que los hace capaces de moverse libremente. Sin embargo, este movimiento aleatorio de electrones no produce ninguna corriente a través de la carga.

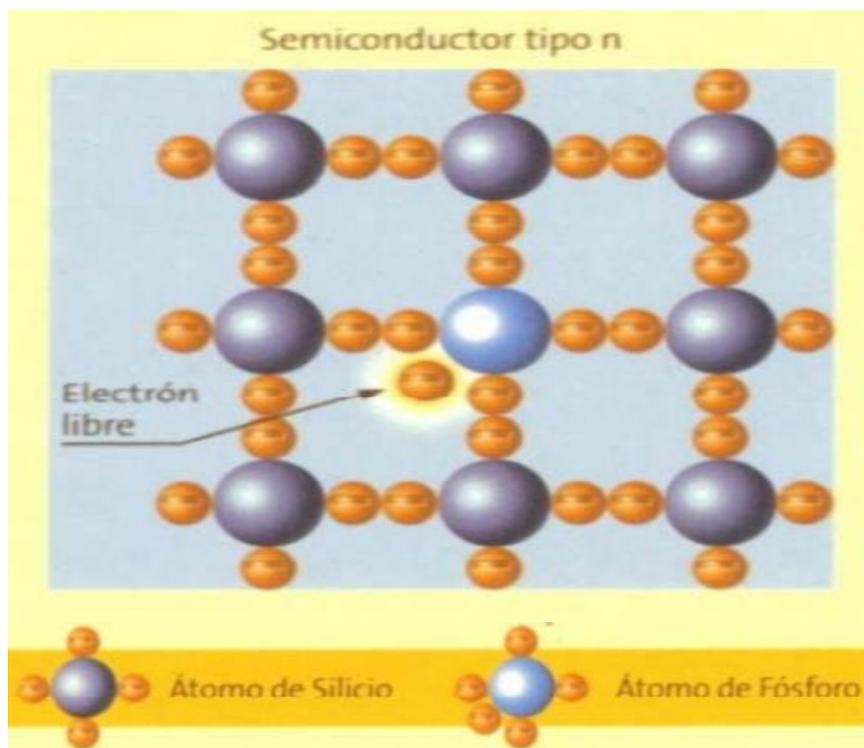


Ilustración 36. Semiconductor tipo N a partir de silicio y fósforo. Extraído de La generación del sol.

Para que este movimiento se produzca de forma unidireccional es necesario una fuerza motriz. La forma más sencilla y eficaz de producir esta fuerza y como consecuencia una corriente a través de la carga, es realizando una unión P-N.

Para producir dicha fuerza se inyectan 3 átomos de boro con 3 electrones de valencia en el silicio puro de tal manera que habrá un agujero para cada átomo, esto es conocido como dopaje tipo P.

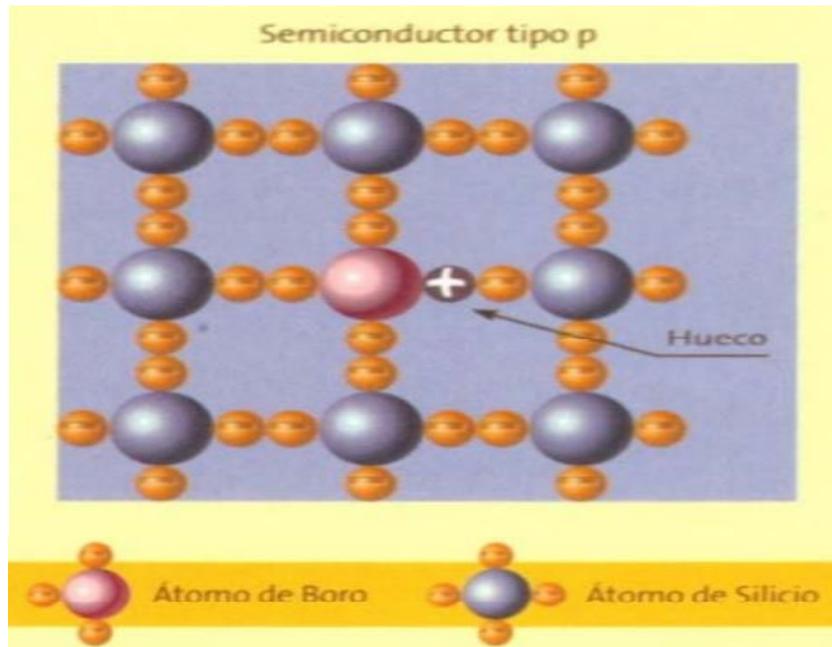


Ilustración 37. Semiconductor tipo P a partir de silicio y boro.
Extraído de La generación del sol.

Si los dos tipos de materiales dopados se unen, algunos electrones del lado N irán a la región P y llenaran los agujeros disponibles, así es como se forma una “región de agotamiento”, donde no hay electrones libres ni agujeros.

Gracias a la migración de electrones, el lado N se carga positivamente y el lado P se carga negativamente, lo que formará un campo eléctrico entre las cargas. Este campo eléctrico produce la fuerza motriz necesaria.

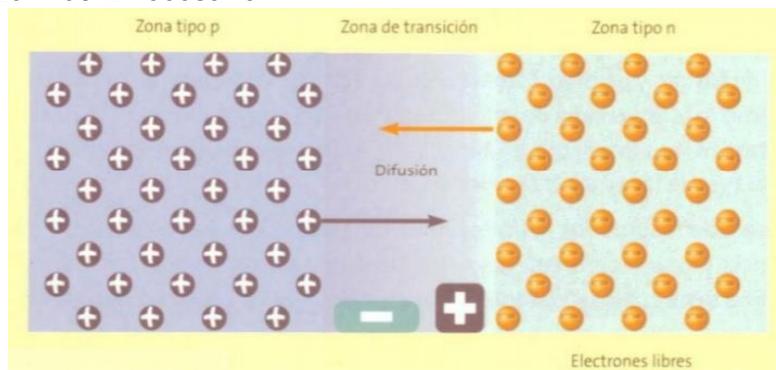


Ilustración 38. Migración de electrones en la unión P-N.
Extraído de La generación del sol.

Como consecuencia de esta fuerza motriz se genera una corriente conocida como corriente de un diodo I_d , cuyo valor está muy relacionado con la temperatura de los semiconductores.

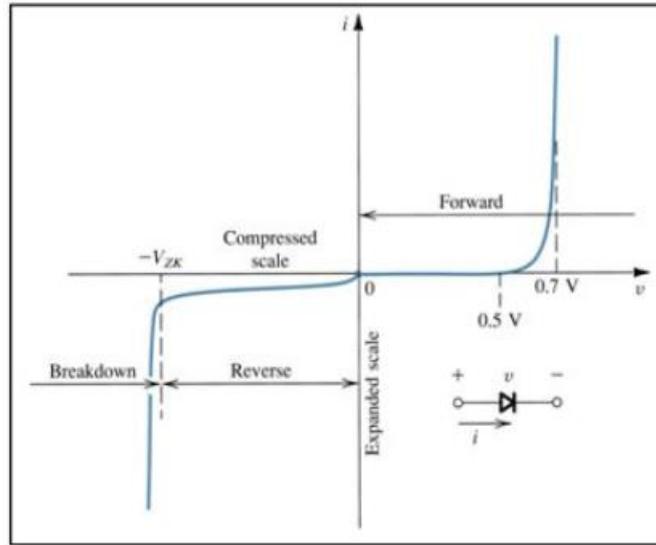


Ilustración 39. Intensidad de corriente de un diodo. Extraído de la Universidad de Antioquía.

Esta intensidad de corriente viene determinada por:

$$I_d = I_s \times \left(e^{\frac{vd}{n \times Vt}} - 1 \right)$$

Ecuación 2. Intensidad de corriente a través de un diodo.

Donde:

- I_d : corriente que circula por el diodo en A.
- V_d : voltaje del diodo con el ánodo positivo con respecto al catodo en V.
- I_s : corriente de saturación o fuga inversa, por lo general del orden de 10^{-5} o 10^{-6} en A.
- N: constante empírica conocida como coeficiente de emisión o factor de idealidad (su valor suele oscilar en 1 y 2).

Esta corriente generada es proporcional, para una determinada longitud de onda, a la irradiancia incidente ya que al aumentar la irradiancia aumenta el número de fotones, los cuales son los encargados de generarla.

El valor del dependerá de la longitud de onda de los fotones ya que la energía de un fotón disminuye a medida que aumenta la longitud de onda asociada y por tanto, el valor de él dependerá de la longitud de onda de los fotones.

El valor de I_s , es independiente del valor de la tensión exterior, ya que sólo depende del campo eléctrico originado en el interior del semiconductor debido a la tensión V_d . El sentido de esta corriente es opuesto al de la corriente I_d ,

Por tanto, cuando un semiconductor tipo p-n está sometido a la radiación solar y a una diferencia de tensión V_d , la corriente producida es:

$$I = I_d - I_s$$

Ecuación 3. Corriente a través de una placa fotovoltaica.

Por último, para para reducir la reflexión de la radiación se imprime sobre la cara delantera de la célula una capa de nitrato de silicio o de dióxido de titanio (capa antirreflectante). De tal manera que obtenemos el siguiente esquema:

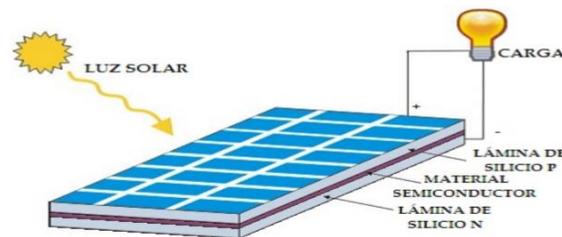


Ilustración 40. Esquema panel solar. Extraído de Energías renovables y limpias.

Para entender el funcionamiento de un panel fotovoltaico es importante entender los parámetros claves que condicionaran su funcionamiento:

- Punto de máxima potencia, PMP: es el punto de la curva, en el que la célula produce la máxima de potencia. A este punto le corresponde una potencia (PPMP), una corriente (IPMP) y una tensión (VPMP). A la potencia máxima en condiciones estándar se le denomina potencia pico y su unidad es el Watío pico, Wp .
- Corriente de cortocircuito, I_{cc} : que es la corriente cuando la tensión a la que se somete a la célula es nula. Suele tener un valor entre un 5% y un 15% mayor que la corriente en el punto de máxima potencia en células comerciales de silicio cristalino con unas dimensiones de 10cm x 10cm (100 cm²), cuando está en condiciones estándar, el valor de la corriente de cortocircuito es de unos 3 A.
- La tensión de circuito abierto, V_{ca} , es la tensión a la cual la célula no produce corriente. Para células comerciales de silicio cristalino, de 100 cm² en condiciones estándar, el valor de la tensión de circuito abierto es del orden de 0,5–0,6V y para células amorfas 0,6–0,9V.

3.2 Diseño y desarrollo de la instalación de autoconsumo.

En siguiente apartado se llevará a cabo el modelo de simulación previamente mencionado. Para ello se ha dispuesto de datos reales del consumo eléctrico de una industria de la provincia de Valladolid, Recuperaciones Íscar, tras estudiar los datos del consumo eléctrico de todo el año 2019, seleccionar el modelo de panel solar adecuado y explicar el modelo de simulación utilizado se dispondrán a hacer las simulaciones necesarias para dimensionar una instalación que permita cubrir el 30% del consumo eléctrico de la planta industrial a estudiar.

3.2.1 Selección del panel fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico elegido para llevar a cabo la instalación es el llamado “Panel Solar 200W 24V Policristalino ERA” el cual presenta las siguientes características:

Especificaciones

Tamaño del módulo	1332 x 992 x 35 mm
Tipo de célula	Policristalina 104 x 156 mm
Número de células	72 (6x12)
Potencia máxima (Wp)	200W
Tolerancia de potencia (%)	±3%
Voltaje en circuito abierto (Voc)	44.5V
Intensidad en cortocircuito (Isc)	5.81A
Voltaje a máxima potencia (Vm)	36.5V
Intensidad a máxima potencia (Im)	5.48A
Fusible máximo Serie	10A
Número de diodos	3
Longitud y tipo cable	90cm, 4mm ²
Condiciones del test	1000W/m ² , 25°C, AM 1.5
Voltaje máximo sistema	1000Vdc
Coefficiente temperatura – Isc	+0.08558%/°C
Coefficiente temperatura – Uoc	-0.29506%/°C
Coefficiente temperatura – Pmpp	-0.38001%/°C
Temperatura normal trabajo célula	45°C
Eficiencia del módulo	15.1%
Certificados de producto	TUV(IEC 61215, IEC 61730), CE, ROHS
Certificados de la empresa	ISO9001, ISO14001, ISO18001
Peso	14.2Kg

Ilustración 41. Ficha técnica del Panel Solar 200W 24V. Extraído de Autosolar.

El tamaño del panel solar es sorprendentemente pequeño para la potencia del mismo, es por ello que es comúnmente utilizado en instalaciones donde la disponibilidad de espacio para colocar la instalación es pequeña y las necesidades son altas.

3.2.2 Desarrollo del modelo Simulink.

A continuación, se va a proceder a explicar el modelo de simulación que se ha utilizado. Se ha realizado un modelo aplicable a cualquier tipo de placa fotovoltaica utilizando el software Matlab (Simulink), el objetivo es que este modelo de simulación nos permita aproximar de manera bastante exacta la producción eléctrica de una instalación fotovoltaica, para conocer cuales deberán ser las características de la misma en función de las necesidades de la planta industrial a estudiar en este caso Recuperaciones Íscar. Todo lo mencionado y realizado a continuación se encuentra en el archivo Simulink llamado "SimulacionP-Vmodule".

Para la realización de dicho modelo se han introducido las siguientes ecuaciones:

$$I_{ph} = [I_{sc} + (k_i \times (T - 298))] \times \frac{G}{1000}$$

Ecuación 4. Corriente fotoeléctrica.

$$I_{sh} = \frac{(V + I \times R_s)}{R_{sh}}$$

Ecuación 5. Corriente a través de la resistencia de shunt.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{q \times V_{oc}}{n \times N_s \times K \times T}}}$$

Ecuación 6. Corriente de saturación inversa.

$$I_0 = I_{rs} \times \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \times e^{\left[\frac{(q \times E_{g0} \times (\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}))}{n \times K}\right]}$$

Ecuación 7. Corriente de saturación.

Donde se va a diferenciar entre: los parámetros dependientes de la instalación, es decir, parámetros cuyo valor dependerán de las características propias de la placa fotovoltaica que se esté usando, constantes, valores necesarios para realizar los cálculos (comunes a cualquier instalación) y por último las variables de entrada, las cuales corresponden a las condiciones atmosféricas y serán claves a la hora de determinar la producción de la instalación de autoconsumo:

Constantes	
ki	Corriente de cortocircuito de la célula a 25 C y 1000 W/m ²
Tn	Temperatura nominal (K)
q	Carga del electrón (C)
n	Factor de idealidad del diodo
K	Constante de Bolzano (J/K)
Eg0	Banda de energía del semiconductor (eV)
Rs	Resistencia en serie (Ω)
Rsh	Resistencia en paralelo (Ω)

Tabla 11. Constantes utilizadas en el modelo Simulink. Elaboración propia.

Parámetros dependientes de la instalación	
Iph	Corriente fotoeléctrica (A)
I ₀	Corriente de saturación (A)
Irs	Corriente de saturación inversa (A)
Ish	Corriente a través de la resistencia en paralelo (A)
I	Corriente de salida (A)
Voc	Voltaje en circuito abierto (V)
Isc	Corriente de corto circuito (A)
Np	Numero de celdas conectadas en paralelo
Ns	Numero de celdas conectadas en serie

Tabla 12. Parámetros dependientes de la instalación utilizados en el modelo Simulink. Elaboración propia.

Variables de entrada	
T	Temperatura de la célula fotovoltaica (°C)
W	Irradiancia (W/m ²)

Tabla 13. Variables de entrada utilizadas en el modelo Simulink. Elaboración propia.

De tal manera que encontramos los siguientes modelos simplificados:

- Corriente fotoeléctrica, I_{ph} : utilizará los parámetros de entrada (irradiancia y temperatura) y obtendrá como salida I_{ph} (corriente fotoeléctrica).

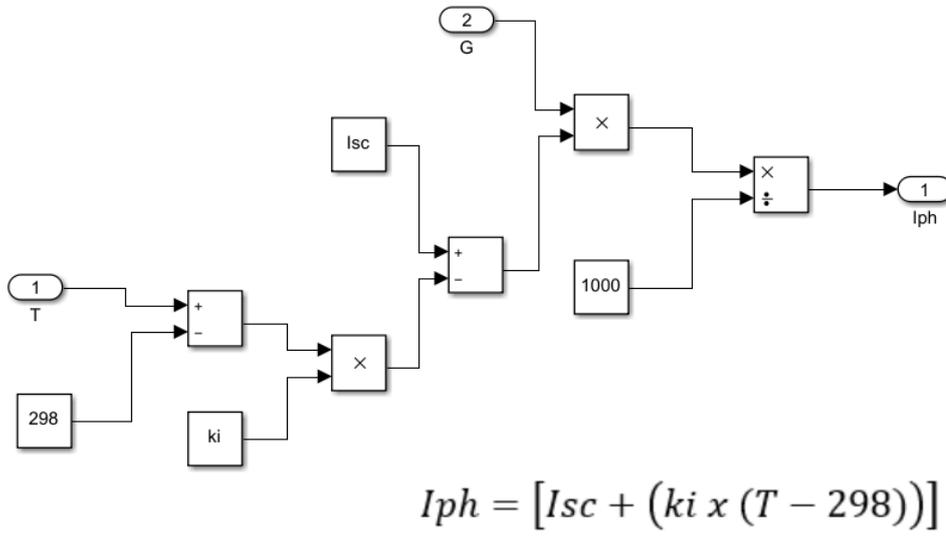


Ilustración 42. Corriente fotoeléctrica en modelo Simulink. Elaboración propia.

- Corriente a través de la resistencia de shunt, I_{sh} : utilizara como parámetros de entrada tanto la corriente como el voltaje de salida, proporcionando I_{sh} (corriente a través de la resistencia de shunt).

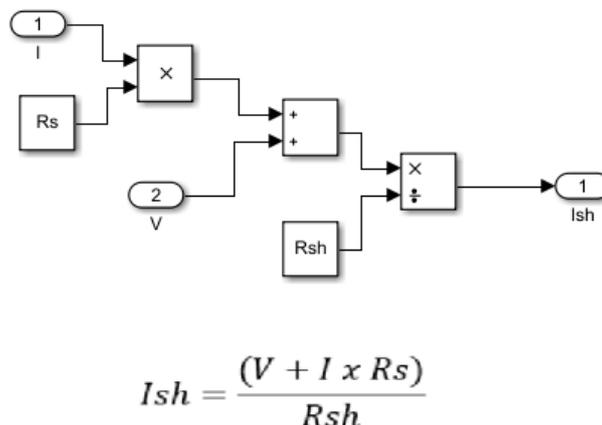


Ilustración 43. Corriente a través de la resistencia en paralelo en modelo Simulink. Elaboración propia.

- Corriente de saturación inversa, I_{rs} : utilizando como parámetro de entrada la temperatura permite obtener a la salida la corriente de saturación inversa (I_{rs}).

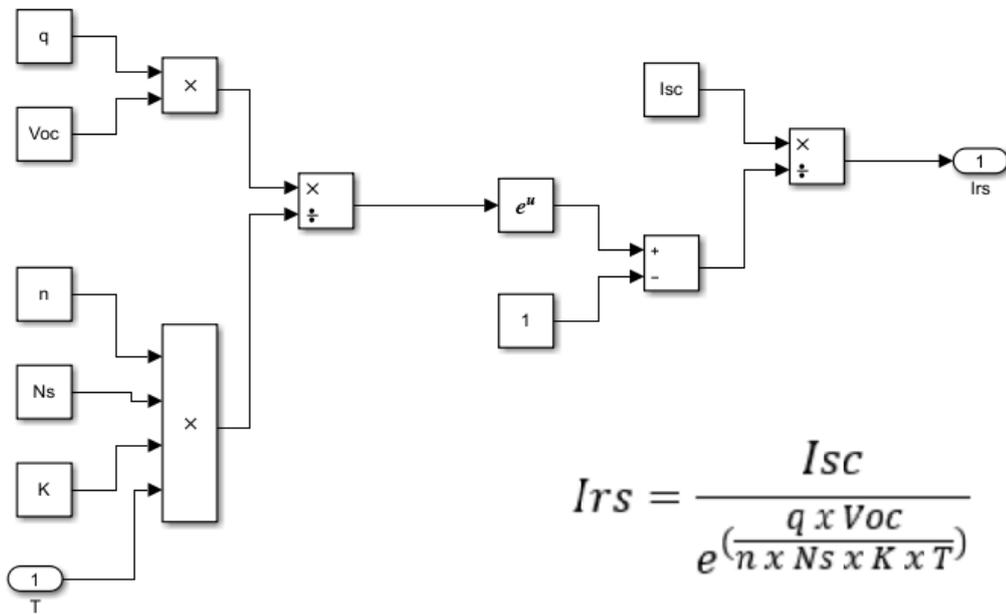


Ilustración 44. Corriente de saturación inversa en modelo Simulink. Elaboración propia.

- Corriente de saturación, I_0 : utiliza como entrada el anterior parámetro de salida (I_{rs}) y la temperatura, proporcionando a la salida la corriente de saturación (I_0).

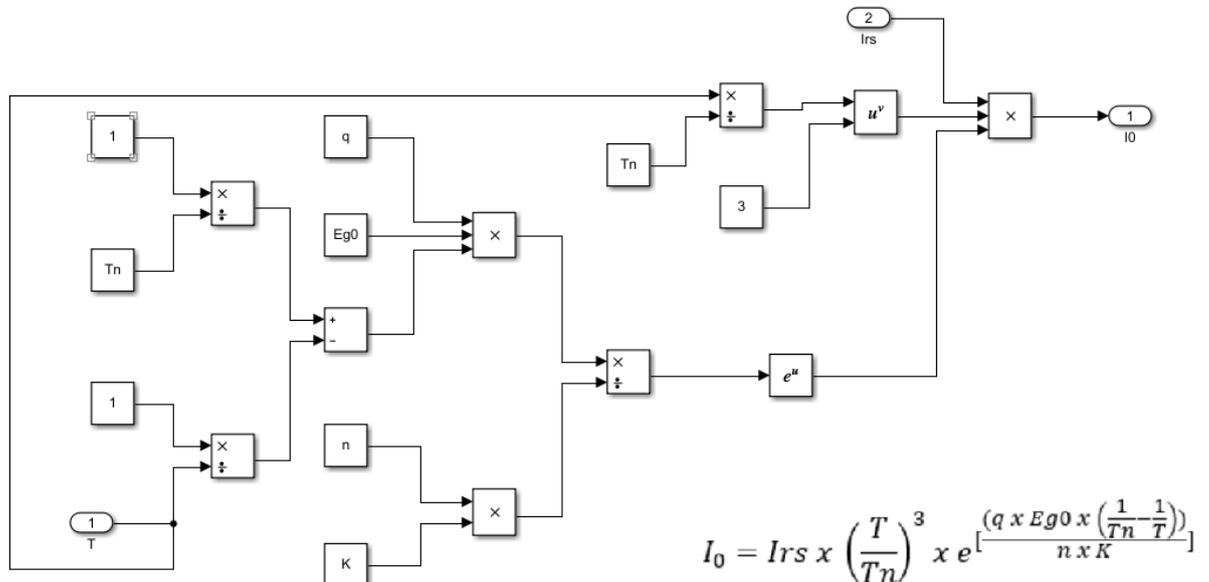


Ilustración 45. Corriente de saturación en modelo Simulink. Elaboración propia

Como resultado de la unión de todas estas variables nos queda el siguiente sistema:

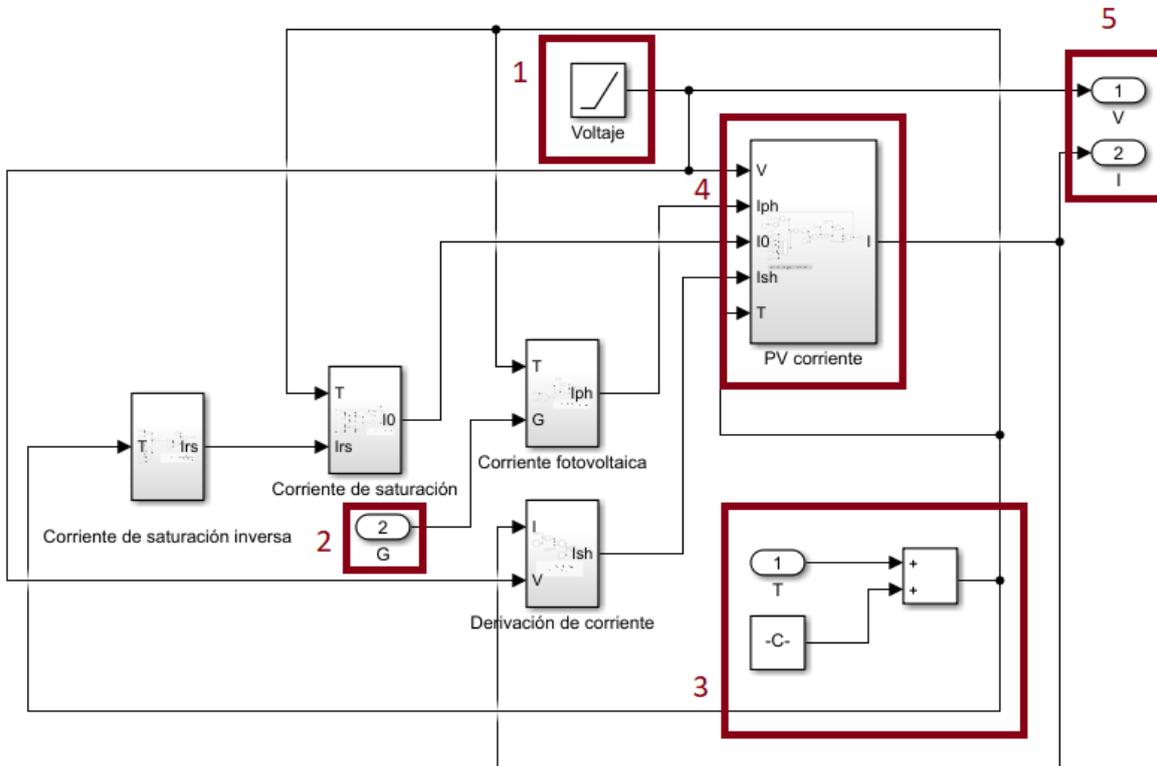


Ilustración 46. Modelo completo Simulink. Elaboración propia.

En el que podemos encontrar:

- En primer lugar, podemos ver como es generado el voltaje (1) mediante un bloque tipo “ramp”, el cual permitirá ajustar la salida a las necesidades específicas del modelo.
- Las variables temperatura e irradiancia (2 y 3) se establecen como entradas, la temperatura será introducida en grados centígrados y el propio modelo efectuará la conversión.
- El bloque central (4), se encargará de realizar las operaciones pertinentes entre las diferentes variables utilizadas para obtener la intensidad de salida (I).
- El voltaje también será establecido como salida (5), ya que es de interés para ser representado frente a la propia intensidad o potencia.

Por último, obtenemos el siguiente modelo simplificado:

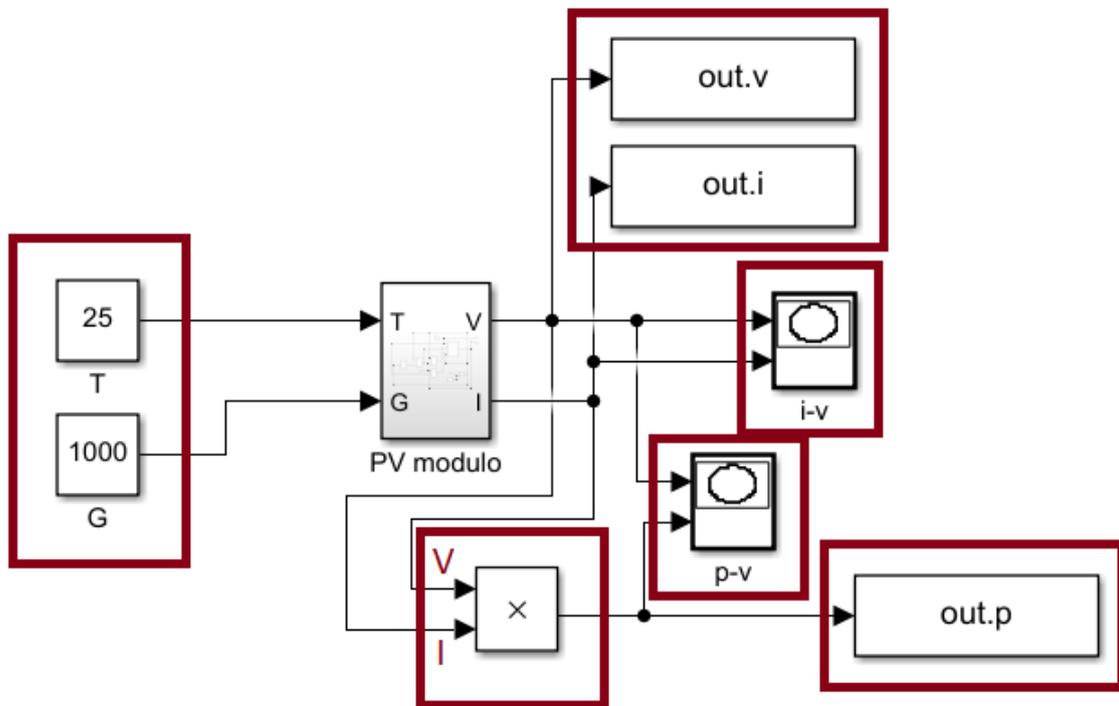


Ilustración 47. Modelo simplificado Simulink. Elaboración propia.

- En este modelo se establecerán las variables de entrada: temperatura (°C) e irradiancia (W/m²).
- Se obtendrá la potencia mediante la expresión:

$$P = V \times I$$

Ecuación 8. Potencia.

- Se graficarán los siguientes datos: Intensidad- voltaje y potencia-voltaje, de tal manera que podremos obtener los valores ya mencionados de: potencia de pico (PMP), con su respectiva intensidad (IPMP) y voltaje correspondiente (VPMP).
- Los bloques “out.v”, “out.i” y “out.p” son bloques tipo “To Workspace” que permiten almacenar los resultado para dichas variables respectivamente en una simulación concreta para después poder trabajar con diferentes simulaciones al mismo tiempo y así poder obtener conclusiones.

En último lugar, se introducirán los valores correspondientes a las variables y parámetros del panel (recogidos en las tablas 11 y 12) y el modelo de simulación estará completo:

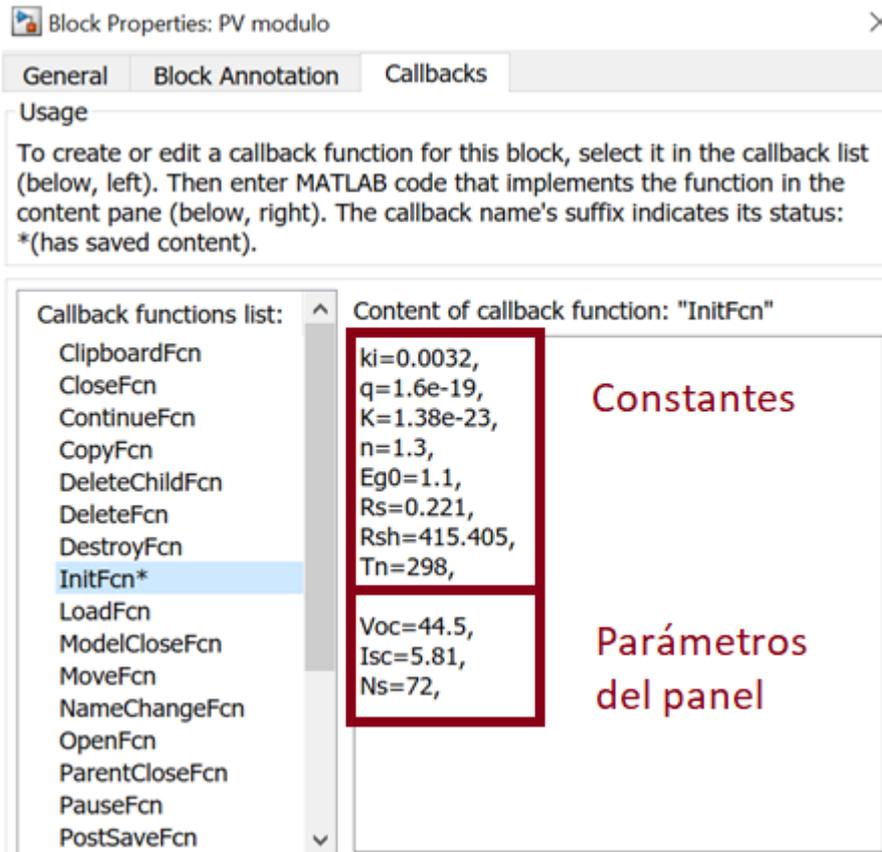


Ilustración 48. Parámetros y constantes en el modelo Simulink.
Elaboración propia.

Este modelo nos permite conocer como variará la producción eléctrica de un módulo fotovoltaico en función de sus características técnicas y mecánicas y de los cambios en las condiciones atmosféricas de irradiancia y temperatura, de este mismo modo podremos realizar una aproximación bastante ajustada para toda la instalación lo que nos permitirá determinar cuales han de ser las características de la misma para poder obtener la energía eléctrica necesaria para el autoconsumo de dicha industria.

Así mismo, este modelo no es solo aplicable para el diseño de instalaciones fotovoltaicas de alto consumo si no que se puede trasvasar a cualquier tipo de infraestructura e instalación siendo un modo muy usado frecuentemente para determinar las necesidades que ha de tener la instalación en función del consumo de la infraestructura a abastecer.

Funcionamiento del modelo Simulink.

Antes de aproximar la que podría ser la producción anual en la provincia de Valladolid de energía eléctrica de un módulo de las siguientes características se va a analizar como los cambios en las condiciones atmosféricas influyen de manera directa en el funcionamiento de estos módulos. Antes se va a comprobar el correcto funcionamiento del sistema comprobando que los parámetros que se obtienen de: potencia máxima y voltaje e intensidad a máxima potencia se corresponden con los establecidos por el fabricante en la ficha técnica, para ello se realiza una simulación en las condiciones de test standart, obteniendo los siguientes resultados:

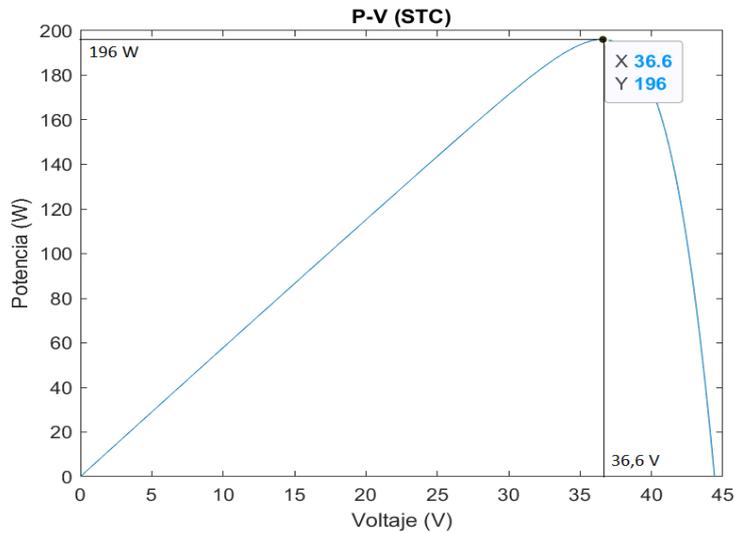


Ilustración 49. Gráfico P-V en condiciones estándar.
Elaboración propia.

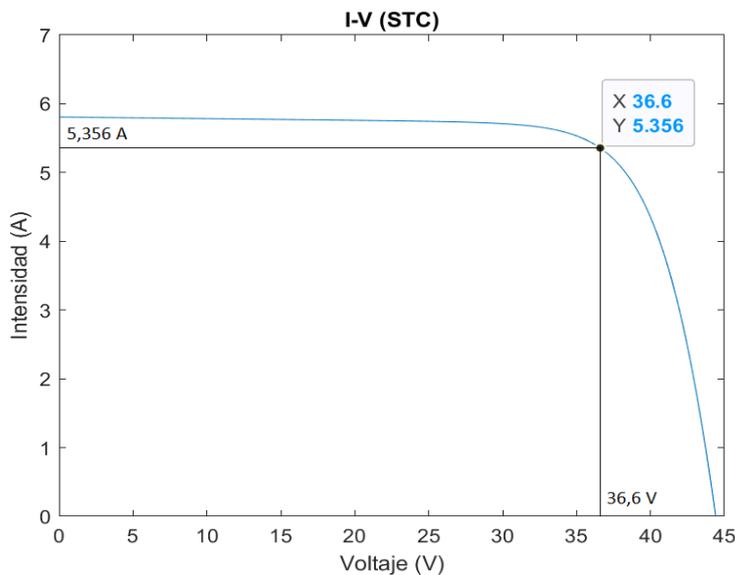


Ilustración 50. Gráfico I-V en condiciones estándar.
Elaboración propia.

En la siguiente tabla podemos observar una comparativa entre los datos de potencia máxima y sus respectivos voltaje e intensidad aportados en la ficha técnica del panel solar escogido (ilustración 41) y los obtenidos con el modelo Simulink (ilustraciones 49 y 50).

	Ficha técnica	Modelo Simulink	Error (%)
Potencia máxima (Wmp)	200	196	2
Voltaje en circuito abierto (Voc)	44,5	44,5	0
Intensidad en cortocircuito (Isc)	5,81	5,81	0
Voltaje a máxima potencia (Vm)	36,5	36,6	-0,27
Intensidad a máxima potencia (Im)	5,48	5,356	2,26

Tabla 14. Comparación entre la ficha técnica y el modelo Simulink. Elaboración propia.

Como se puede observar el modelo es verdaderamente fiable ya que realizando una simulación para las condiciones STC (1000 W/ Y 26°C) se obtienen valores muy similares de potencia, voltaje e intensidad de pico.

Una vez mostrado el correcto funcionamiento del modelo de simulación se va a proceder a hacer pruebas para conocer las variaciones en los diferentes parámetros de la instalación en función de los cambios en irradiación y temperatura y así posteriormente poder comprender los datos de producción eléctrica a lo largo del año.

Para ello se han realizado dos simulaciones diferentes:

- En la primera simulación podemos ver los cambios en potencia voltaje e intensidad para diferentes valores de la irradiación, lo que nos permitirá entender como esta variable afecta a la producción del módulo.
- En la segunda simulación podemos ver los cambios en potencia voltaje e intensidad para diferentes valores de la temperatura, lo que nos permitirá entender como esta variable afecta a la producción del módulo.

Tras estas simulaciones se realizarán los análisis de los resultados obtenidos, con el objetivo de llegar a unas conclusiones concretas.

Simulación 1 (Irradiación variable):

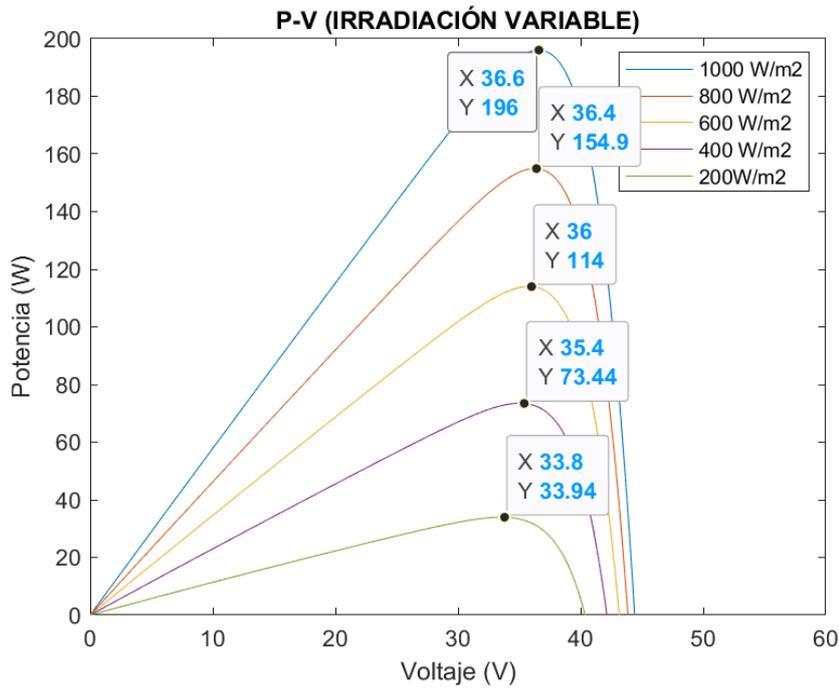


Ilustración 52. Resultados de la simulación para irradiación variables (P-V). Elaboración propia

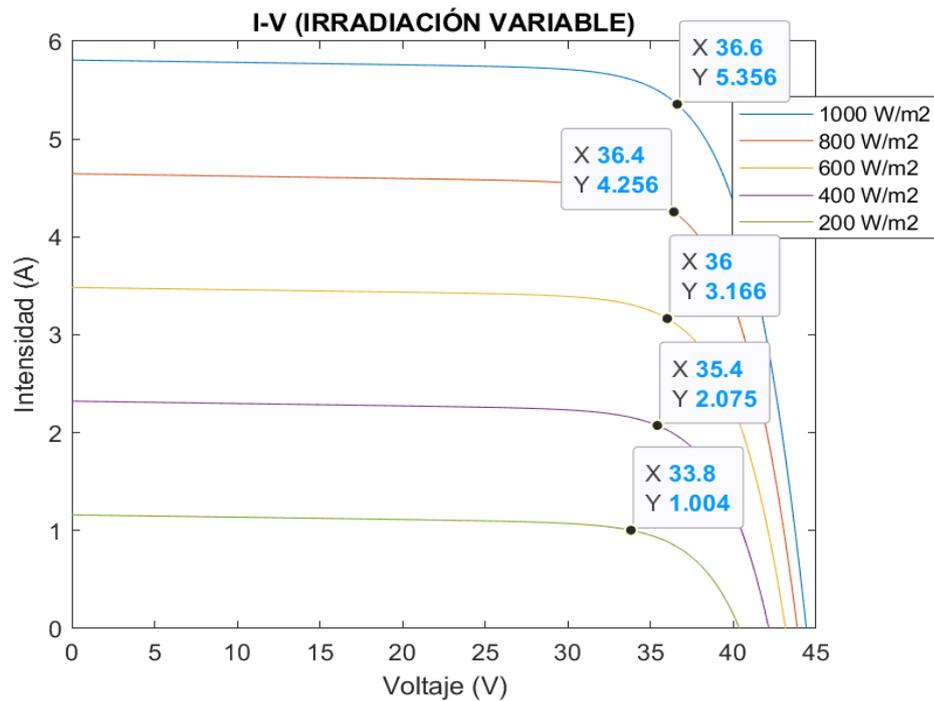


Ilustración 51. Resultados de la simulación para irradiación variables (I-V). Elaboración propia.

Conclusiones para la simulación 1:

Parámetro	1000 W/m ²	800 W/m ²	600 W/m ²	400 W/m ²	200 W/m ²
Voltaje en el punto de máxima potencia (Ip max) (A)	36,6	36,4	36	35,4	33,8
Intensidad en el punto de máxima potencia (Vp max) (V)	5,356	4,256	3,166	2,075	1,004
Punto de máxima potencia (PMP) (W)	196	154,9	114	73,44	33,94

Tabla 15. Resultados para la simulación 1. Elaboración propia.

Como se puede observar la tabla 15 donde se muestra el resumen de los resultados obtenidos para simulación 1 es evidente que existe una relación directa entre potencia e irradiación, con el objetivo de comentar esta relación de manera más detallada se ha llevado a cabo el siguiente gráfico:

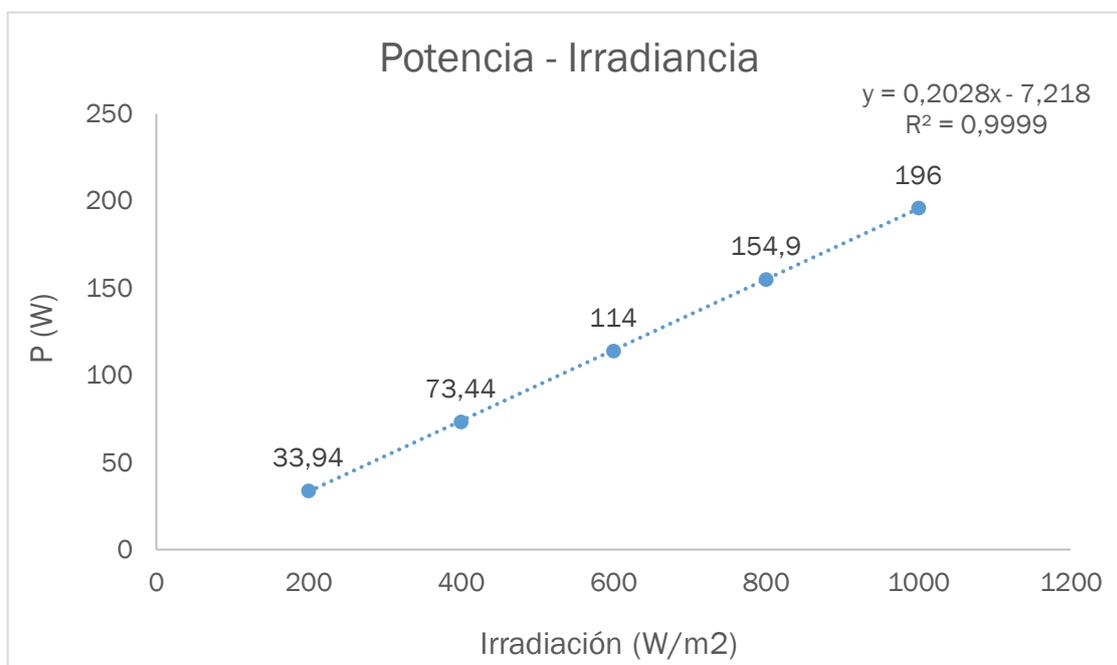


Ilustración 53. Relación potencia-irradiación. Elaboración propia.

En este gráfico se puede apreciar que la relación “potencia-irradiación” es prácticamente lineal en su totalidad ($R^2 = 0,9999$) de tal manera que, a mayores valores de irradiación, más alta será la potencia de pico alcanzada por el módulo fotovoltaico.

Simulación 2 (Temperatura variable):

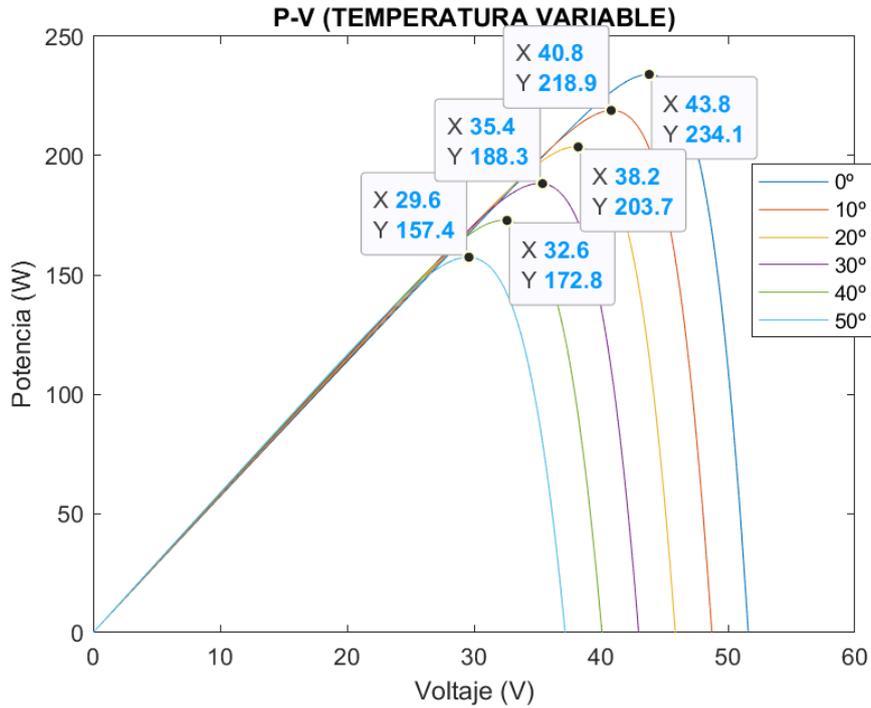


Ilustración 55. Resultados de la simulación para temperatura variable (P-V).
Elaboración propia

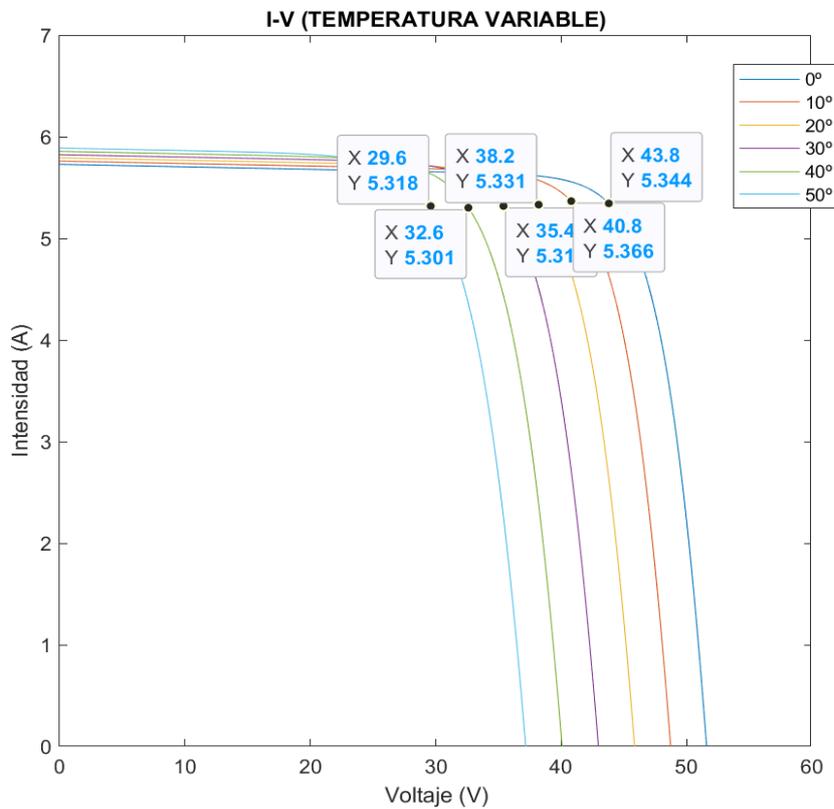


Ilustración 54. Resultados de la simulación para temperatura variable (I-V).
Elaboración propia.

Conclusiones para la simulación 2:

Parámetro	50 °C	40 °C	30 °C	20 °C	10 °C	0 °C
Voltaje en el punto de máxima potencia (Ip max) (V)	29,6	32,6	35,4	38,2	40,8	43,8
Intensidad en el punto de máxima potencia (Vp max) (A)	5,318	5,301	5,311	5,331	5,366	5,344
Punto de máxima potencia (PMP) (W)	157,4	172,8	188,3	203,7	218,9	234,1

Tabla 16. Resultados para la simulación 2. Elaboración propia.

Como se puede observar la tabla 16 donde se muestra el resumen de los resultados obtenidos para simulación 2 es evidente que existe una relación directa entre potencia y temperatura, con el objetivo de comentar esta relación de manera más detallada se ha llevado a cabo el siguiente gráfico

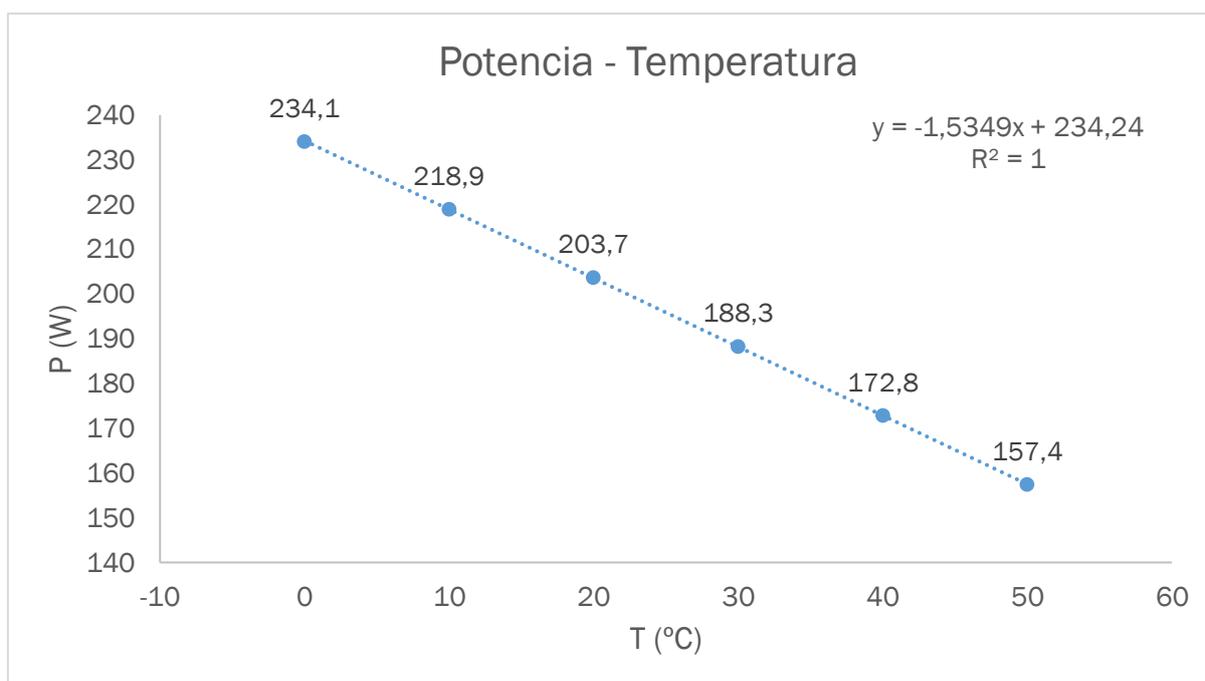


Ilustración 56. Relación potencia-temperatura. Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se puede observar como la relación “potencia-temperatura” es absolutamente lineal ($R^2 = 1$) de tal manera que a medida que la temperatura es menor se alcanzan valores de potencia de pico más altos.

De las siguientes simulaciones podemos obtener que el objetivo final es que el módulo solar este expuesto a la máxima irradiación posible a la menor temperatura, dentro de las posibilidades técnicas y atmosféricas.

3.2.3 Simulación para la planta industrial de Recuperaciones Íscar.

Una vez se ha estudiado como las condiciones atmosféricas de irradiación y temperatura, las cuales son los parámetros de entrada del modelo, afectan a la producción eléctrica del módulo solar se va a realizar un modelo similar con la intención de realizar una predicción de lo que podría ser la producción de potencia eléctrica en el municipio de Íscar de un módulo de estas características.

El objetivo es desarrollar un modelo que conociendo las necesidades eléctricas de la industria permita dar una idea bastante exacta de cuáles deberían ser las características de la instalación necesaria para que se produzca un ahorro en el consumo eléctrico del 30% anual. Para ello se utilizará el ya mencionado Simulink “SimulacionP-Vmodule” y el archivo Excel adjunto llamado “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019”, al cual se hará referencia durante todo el procedimiento.

Lo que no solo nos proporcionará información acerca del número de placas necesarias, sino que también nos permitirá conocer el coste y el tamaño de la propia instalación, factores que se presentan fundamentales para llevarla a cabo.

Para ello en primero será necesario conocer los datos de temperatura e irradiancia para el municipio de Íscar:

- Respecto a la temperatura se trabajará con un único valor por mes, el cual ha sido obtenido hallando la media entre las medias de las temperaturas máximas y mínimas para cada mes, utilizando los datos desde 1982 hasta 2019 proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Una vez se hallan obtenido las temperaturas medias para cada uno de los meses será necesario obtener la temperatura de trabajo de la placa la cual será de media 25 °C superior a la del exterior. Esta temperatura será la que utilizaremos para trabajar en nuestro modelo Simulink.

- La obtención de los de irradiancia será un proceso más complejo, el cual requerirá de una serie de transformaciones matemáticas de los datos iniciales que se explican tras la obtención de la temperatura de trabajo.

Ambos procedimientos se han realizado en el archivo Excel “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019” en hoja de calculo llamada “CONDICIONES”.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	4	5,25	8,65	11,05	14,1	18,7	21,55	21,2	18,2	12,75	8,4	5,25
Temperatura máxima (°C)	0,2	0,2	3,3	5	8	11,7	13,7	13,8	11,4	7	3,7	1,8
Temperatura mínima (°C)	7,8	10,3	14	17,1	20,2	25,7	29,4	28,6	25	18,5	13,1	8,7

Temperatura de trabajo (°C)	29	30,25	33,65	36,05	39,1	43,7	46,55	46,2	43,2	37,75	33,4	30,25
-----------------------------	----	-------	-------	-------	------	------	-------	------	------	-------	------	-------

Tabla 17. Obtención de la temperatura de trabajo. Elaboración propia.

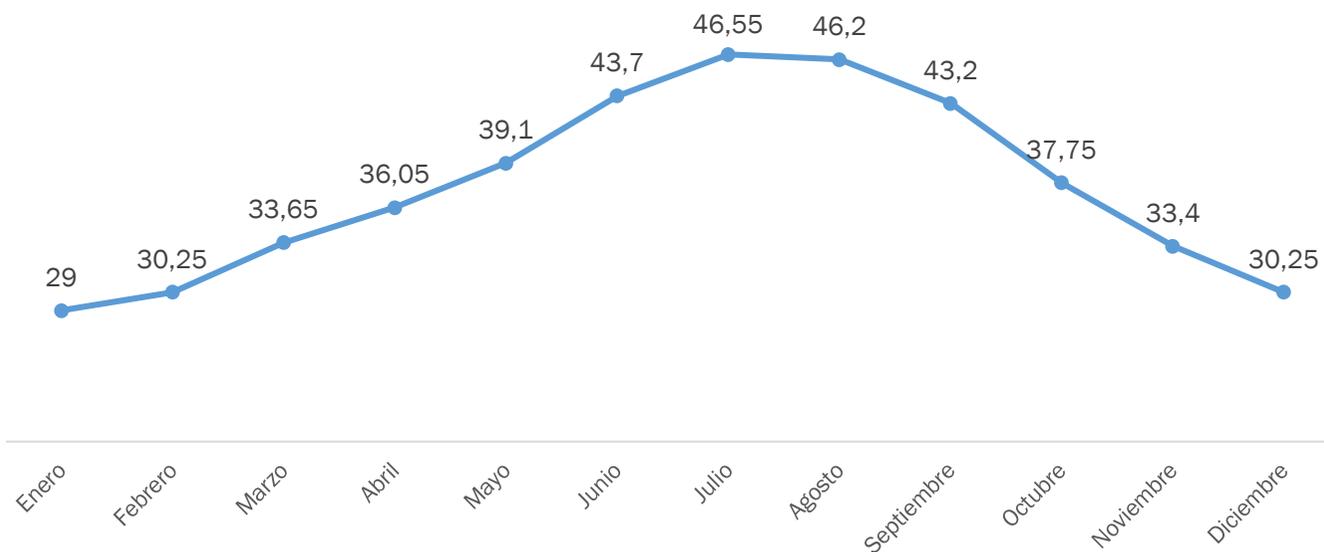


Ilustración 57. Evolución de la temperatura de trabajo durante un año. Elaboración propia.

Para facilitar el proceso de cálculo en las instalaciones fotovoltaicas, se empleará como parámetro de entrada un concepto íntimamente relacionado con la irradiancia solar, que simplifica el cálculo de las prestaciones energéticas de este tipo de instalaciones, son las “horas sol pico” (HSP).

Se denomina HSP al número de horas diarias que, con una irradiancia solar ideal de 1000 W/m^2 proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día. Este concepto se explica gráficamente en la siguiente imagen.

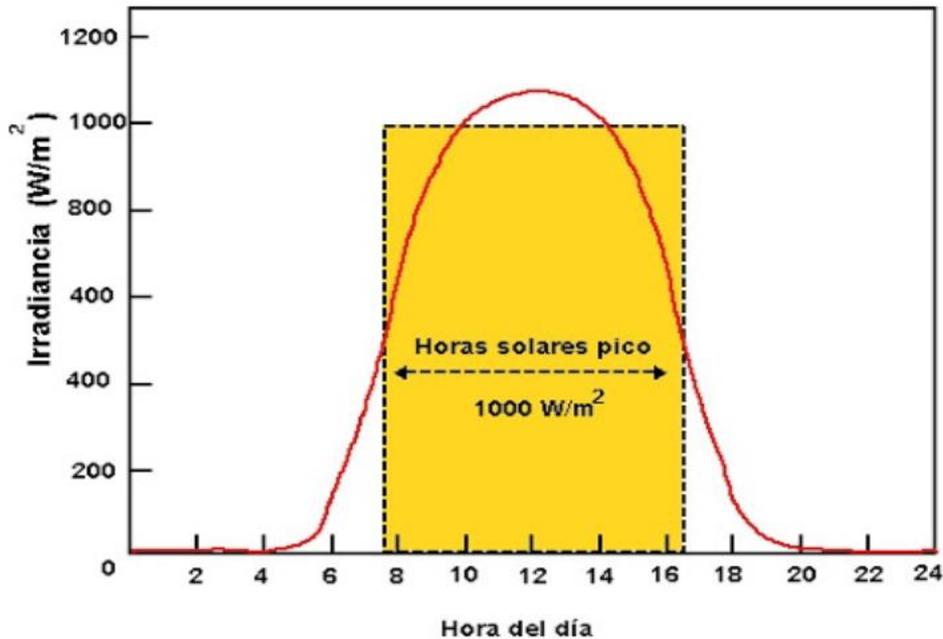


Ilustración 57. Factor de horas pico. Extraído de CalculationSolar Blog.

Como es obvio, este factor variará en función de la localización de la instalación y el momento del año, por tanto, se van a seguir una serie de pasos que nos permitirán conocer los valores medios de este factor para cada mes del año en la localización donde será construida la instalación. El procedimiento utilizado, el cual ha sido extraído del blog Calculation Solar, consta de 7 pasos:

- PASO 1. Obtención de coordenadas del lugar.
- PASO 2. Declinación solar (δ).
- PASO 3. Obtención de la inclinación óptima.
- PASO 4. Radiación global horizontal.
- PASO 5. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo.
- PASO 6. Obtención del factor de irradiancia (FI).
- PASO 7. Obtención de las horas sol pico día (HSP/día).

Con el procedimiento mencionado se ha elaborado una hoja de Excel que nos permite calcular el factor HSP en función de las coordenadas de latitud y longitud y la radiación solar media de cada mes para esa localización determinada. A continuación, se va a realizar una explicación teórica de como se han llevado a cabo cada uno de los pasos del procedimiento mencionado:

PASO 1: Obtención de coordenadas del lugar.

El emplazamiento de la industria, la cual se pretende abastecer se encuentra en Íscar en la provincia de Valladolid, este emplazamiento tiene las siguientes coordenadas:

Latitud: 41,4611661°; **Longitud:** -4,5881069°.

PASO 2. Declinación solar (δ).

Es necesario determinar la declinación solar para cada uno de los momentos del año. Para ello se elegirá el día central de cada mes como referencia para el mes en general, de tal manera que utilizando la expresión:

$$\delta = 23,45 \times \text{sen}\left(360 \times \frac{284 + \delta_n}{365}\right)$$

Ecuación 9. Declinación solar.

Donde:

- δ : Declinación solar (°).
- δ_n : Día del año. (Siendo 1 el primer día de enero y 365 el último día diciembre).

Se obtienen los siguientes valores:

Día central de cada mes	Mes	Declinación
15	Enero	21,2695
45	Febrero	13,6198
74	Marzo	2,81888
105	Abril	9,41489
135	Mayo	18,7919
166	Junio	23,3144
196	Julio	21,5173
227	Agosto	13,7836
258	Septiembre	2,21689
288	Octubre	9,5994
319	Noviembre	19,1478
349	Diciembre	23,3352

Tabla 18. Declinación para cada mes del año

Cabe destacar que la declinación solar no dependerá de una ubicación determinada, sino que corresponderá con la desviación del eje de rotación para todo el planeta Tierra.

PASO 3. Obtención de la inclinación óptima (β_{opt}).

Como es lógico para que una superficie recibiese la radiación solar óptima sería necesario variar su ángulo de inclinación desde $\beta_{opt} = \varphi - \delta$ en el solsticio de verano hasta $\beta_{opt} = \varphi + \delta$ en el solsticio de invierno pasando por $\beta_{opt} = \varphi$ en los equinoccios.

Donde:

- β_{opt} : inclinación óptima de la placa.
- β : inclinación óptima media.
- Φ : latitud.
- δ : declinación.

Pero en este caso la inclinación solar será fija por lo que hallaremos el para cada uno de los meses del año y posteriormente se hará la media, de tal manera que ese (medio) será la inclinación de las placas solares.

Mes	Declinación (δ)	Inclinación óptima (β_{opt})
Enero	21,2694739	62,73064002
Febrero	13,6197664	55,08093252
Marzo	2,81887865	44,28004476
Abril	9,41489335	32,04627276
Mayo	18,7919175	22,66924859
Junio	23,3144099	18,14675619
Julio	21,517336	19,94383008
Agosto	13,7835642	27,67760194
Septiembre	2,21688678	39,24427933
Octubre	9,59939723	51,06056334
Noviembre	19,1478173	60,60898342
Diciembre	23,3352195	64,79638566
Inclinación media óptima (β)		41,52379488

Tabla 19. Inclinación media óptima.

PASO 4. Radiación global horizontal.

Obtenemos los datos de la radiación solar global horizontal para las coordenadas establecidas, haciendo uso de ADRASE (Acceso a Datos de Radiación Sola en España).

Mes	Radiación global horizontal (KWh/m ²)
Enero	2
Febrero	3
Marzo	4,6
Abril	5,7
Mayo	6,5
Junio	7,8
Julio	7,7
Agosto	6,7
Septiembre	5,2
Octubre	3,5
Noviembre	2,2
Diciembre	1,7

Tabla 20. Radiación global horizontal. Extraído de ADRASE.

PASO 5. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo.

Se puede calcular el valor medio anual de la irradiación global diaria sobre una superficie inclinada, partiendo de los valores medios anuales de la irradiación global diaria horizontal de la tabla anterior, utilizando como datos de partida la latitud de la localidad y la inclinación óptima (β_{opt}) de la superficie del generador para cada uno de los meses del año.

La expresión que se utiliza para hacer este cálculo es la siguiente:

$$G(\beta_{opt}) = \frac{G(0)}{1 - 4,46 \times 10^{-4} \times \beta_{opt} - 1,19 \times 10^{-4} \times \beta_{opt}^2}$$

Ecuación 10. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo

Donde:

- $G(\beta_{opt})$: radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo
- $G(0)$: radiación global horizontal
- β_{opt} : ángulo de inclinación óptimo.

Aplicando la expresión de $G(\beta_{opt})$ a los valores recogidos en la tabla 20 obtenemos los valores de la radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo:

Mes	Radiación global sobre una superficie inclinada $G(\beta_{opt})$ (KWh/m ²)
Enero	3,970292019
Febrero	4,882822689
Marzo	6,158582382
Abril	6,601052252
Mayo	6,998759377
Junio	8,187091583
Julio	8,158749816
Agosto	7,473542422
Septiembre	6,506314788
Octubre	5,247593183
Noviembre	4,105795314
Diciembre	3,605737678

Tabla 21. Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo. Elaboración propia.

PASO 6. Obtención del factor de irradiancia (FI).

Siempre que sea posible la superficie del panel debe estar orientado e inclinado de forma óptima ($\alpha = 0^\circ$ y β_{opt}). Sin embargo, este requisito es posible de cumplir muy pocas veces debido a restricciones meteorológicas como el viento o la acumulación de nieve, la integración arquitectónica etc.

Para considerar estas pérdidas, debidas a la inclinación y orientación no óptimas, se aplica un coeficiente de reducción de la energía denominado factor de irradiancia (FI) y que se calcula con las expresiones siguientes:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-4} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ \leq \beta \leq 45^\circ .$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2] \quad \text{para } \beta \geq 45^\circ .$$

Ecuación 11. Factor de irradiancia.

Donde:

- FI: factor de irradiancia.
- β : inclinación media optima.
- β_{opt} : inclinación optima.
- α : acimut de la superficie (111,52°).

Aplicando la expresión anterior se obtienen los siguientes datos:

Mes	Factor de irradiación (FI).
Enero	0,942129166
Febrero	0,974041282
Marzo	0,99518517
Abril	0,985317989
Mayo	0,95343753
Junio	0,930518487
Julio	0,940213414
Agosto	0,973090753
Septiembre	0,995473257
Octubre	0,985182806
Noviembre	0,952387469
Diciembre	0,931103182

Tabla 22. Factor de irradiación. Elaboración propia.

PASO 7. Obtención de las horas sol pico día (HSP/día).

En este último paso se obtendrán las horas sol pico, parámetro que será utilizado como entrada para la simulación. Para ello se utilizará la expresión:

$$\frac{HSP}{\text{día}} = FI \times G(\beta_{opt})$$

Recordemos que el factor horas sol pico hace referencia al número de horas diarias que, con una irradiancia solar ideal de 1000 W/m².

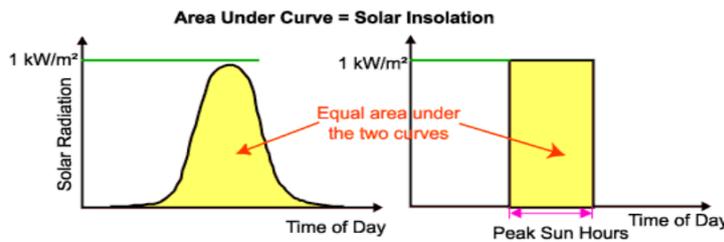


Ilustración 58. Relación irradiancia solar y horas sol pico. Extraído de PVEducacion.

De manera que, por último, obtenemos los datos de horas pico día (HSP/día) que serán utilizadas como parámetro de entrada en el modelo Simulink:

Mes	HSP (KWh/m ²)
Enero	3,74052791
Febrero	3,086079217
Marzo	4,685511778
Abril	5,76180218
Mayo	6,539846667
Junio	7,831609939
Julio	7,73748123
Agosto	6,757359145
Septiembre	5,278463782
Octubre	3,585339667
Noviembre	2,279878074
Diciembre	1,774990028

Tabla 23. Horas pico día. Elaboración propia

Con el objetivo de dar una mayor perspectiva a estos datos se ha elaborado un gráfico que nos permite observar como evoluciona el factor HSP a lo largo del año.

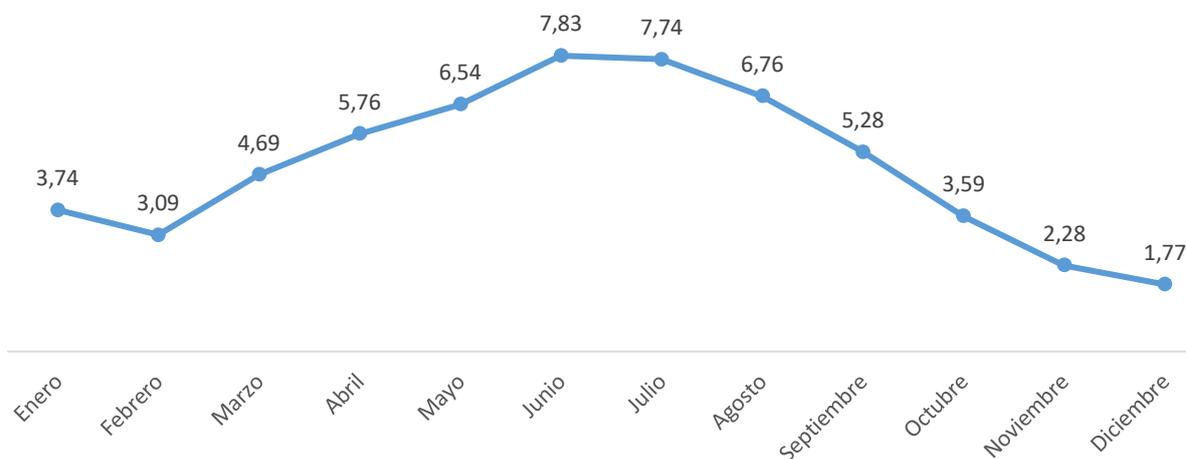


Ilustración 59. Evolución del factor HSP a lo largo de un año. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se encuentran recogidos los valores obtenidos de los parámetros de entrada al modelo que serán utilizados para realizar las simulaciones necesarias.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura de trabajo (°C)	29	30,25	33,65	36,05	39,1	43,7	46,55	46,2	43,2	37,75	33,4	30,25
Horas de sol pico (HSP/día) (KWh)	3,74053	3,08608	4,68551	5,7618	6,53985	7,83161	7,73748	6,75736	5,3784634	3,58534	2,2798781	1,77499

Tabla 24. Parámetros de entrada modelo Simulink. Elaboración propia

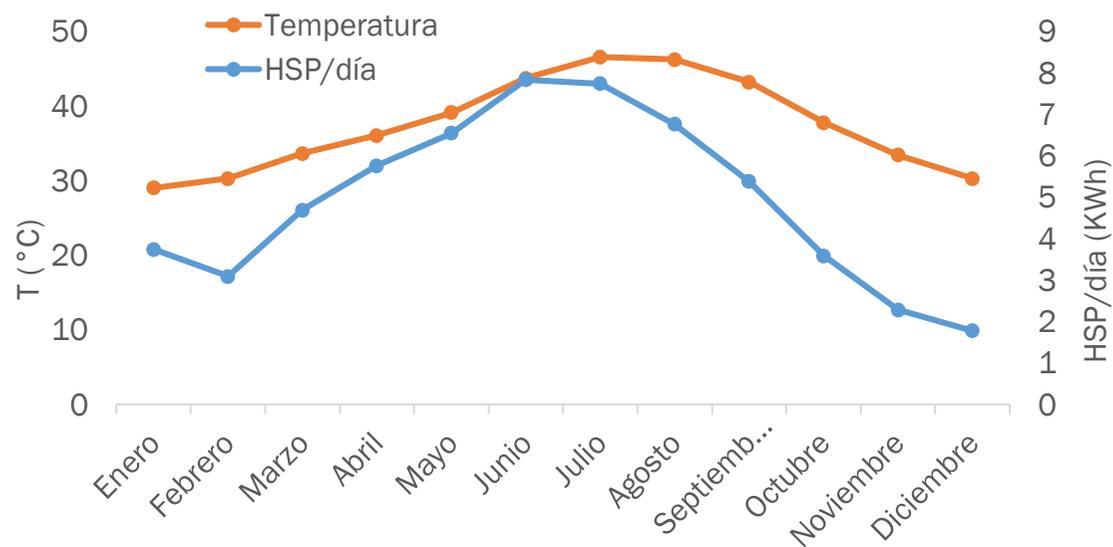


Ilustración 60. Evolución de los parámetros de entrada del modelo Simulink durante un año. Elaboración propia.

Una vez recogidas las condiciones de trabajo para cada uno de los meses del año se realizarán doce simulaciones (una para cada mes) con el objetivo de conocer cuántos módulos “Panel Solar 200W 24V” son necesarios utilizar para cubrir el 30% del consumo diario de la industria. Este procedimiento puede ser observado en el Excel llamado “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019”.

Para ello en primer lugar se ha realizado la media mensual de consumo eléctrico para todo el año 2019, tomándose esa cifra como la referencia del consumo de un día para el mes en cuestión. Una vez realizado este cálculo para cada uno de los doce meses se halla el 30% de la cifra de consumo hallado y eso será el objetivo a cubrir por la instalación fotovoltaica. De tal manera que se obtienen los siguientes datos:

Mes	Condiciones		Consumo kWh	Objetivo (30%) kWh
	Temperatura (°C)	HSP (W/m ²)		
Enero	29	3,74052791	503,8387097	151,1516129
Febrero	30,25	4,75607087	472,7857143	141,8357143
Marzo	33,65	6,12892986	490,8387097	147,2516129
Abril	36,05	6,50413553	377	113,1
Mayo	39,1	6,67287985	462,2258065	138,6677419
Junio	43,7	7,61824008	485,8166667	145,745
Julio	46,55	7,67096602	501,0322581	150,3096774
Agosto	46,2	7,27243502	462,7419355	138,8225806
Septiembre	43,2	6,47686237	429,6333333	128,89
Octubre	37,75	5,16983858	515,6774194	154,7032258
Noviembre	33,4	3,91030801	609,7333333	182,92
Diciembre	30,25	3,35731383	635,2580645	190,5774194

Tabla 25. Parámetros de trabajo para las simulaciones en el modelo Simulink. Elaboración propia.

Los datos de la tabla 24 serán los utilizados para realizar las simulaciones mensuales y dimensionar la instalación fotovoltaica. A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones donde se puede observar cual sería la producción de un único modulo fotovoltaico para cada mes, estos serán los datos de partida utilizados para dimensionar la instalación.

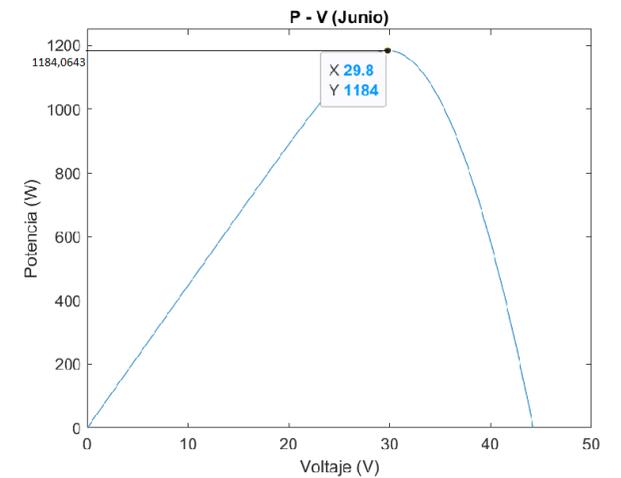
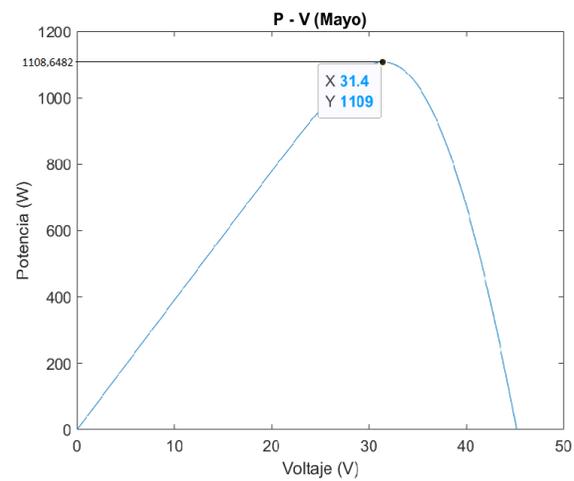
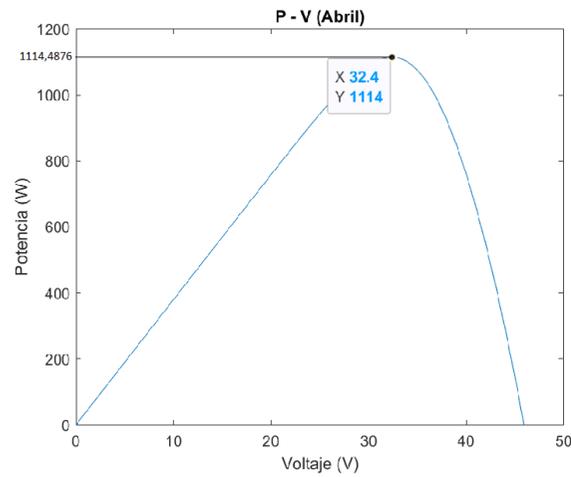
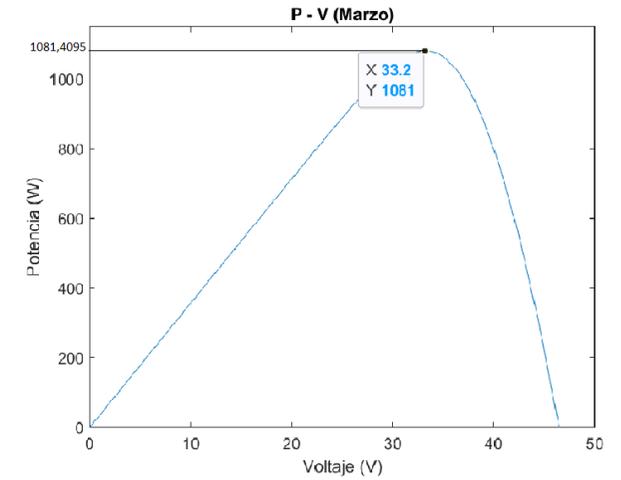
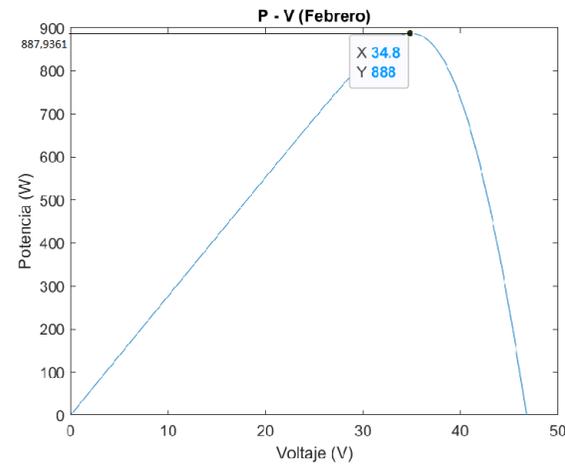
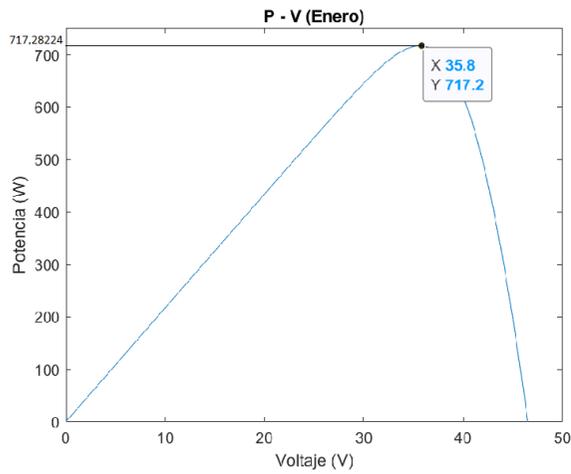


Ilustración 61. Resultado de las simulaciones primer semestre de 2019. Elaboración propia.

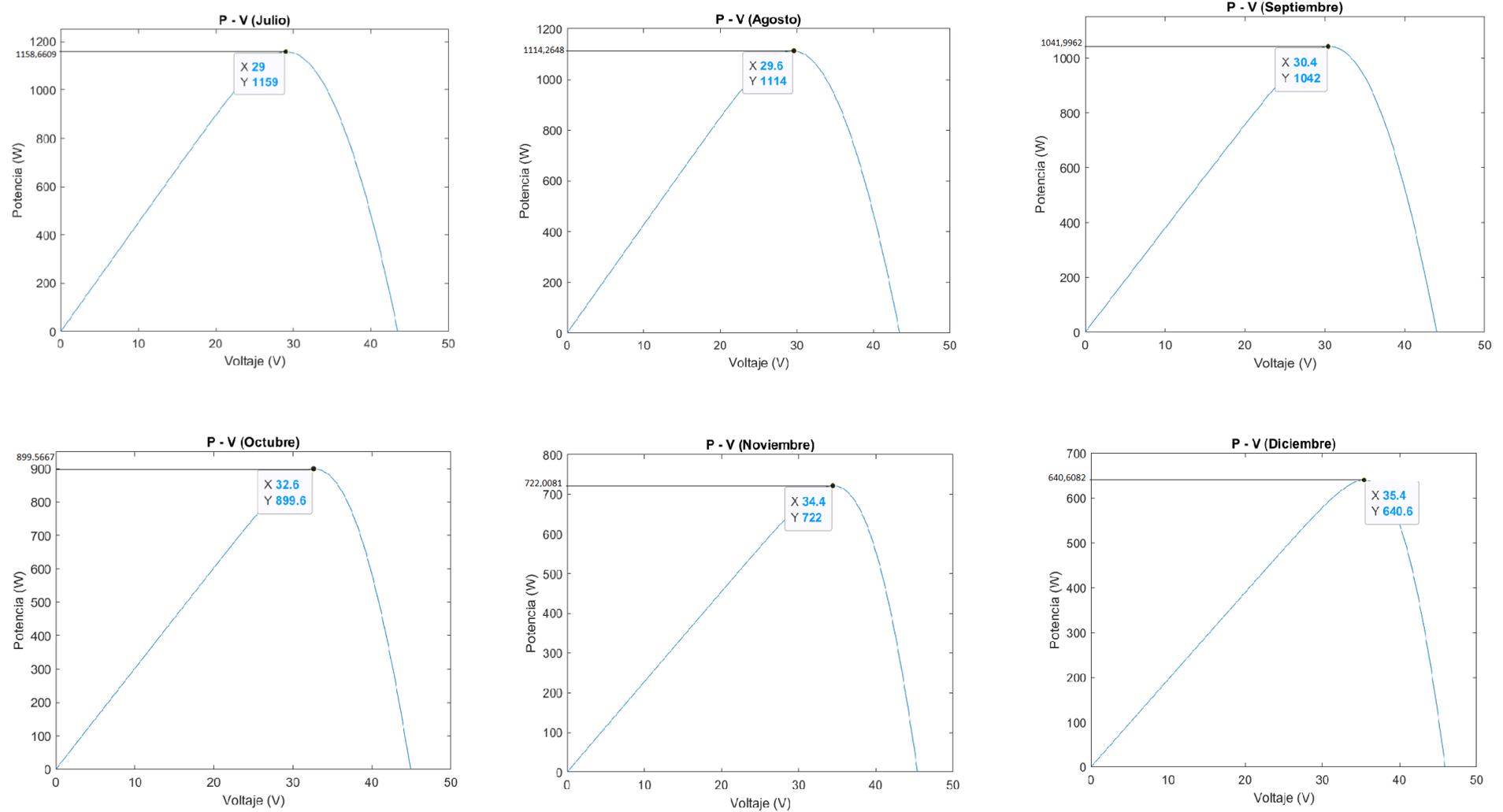


Ilustración 62. Resultado de las simulaciones segundo semestre de 2019. Elaboración propia.

Los resultados de estas simulaciones estan adjuntos en el archivo Matlab “Simulaciones 2019” de donde se ha extraido el valor de la potencia pico para cada uno de los meses y se han ilustrado en la siguiente tabla:

Mes	Producción (Un módulo)
	kWh
Enero	0,717282246021768
Febrero	0,887936159416714
Marzo	1,081409572160530
Abril	1,114487612284150
Mayo	1,108648237604110
Junio	1,184064340707650
Julio	1,158660927369820
Agosto	1,114264873153810
Septiembre	1,041996250540100
Octubre	0,899566791717277
Noviembre	0,722008120688475
Diciembre	0,640608256158920

Tabla 26. Producción por un único modulo para cada mes de 2019. Elaboración propia.

A continuación, se relacionará el objetivo de consumo a cubrir asociado a cada mes con la cantidad de electricidad producida por un único modulo, con el objetivo de obtener el número de módulos que serían necesarios para cubrir dichas necesidades en ese mes en concreto. El procedimiento detallado puede observarse en el Excel “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019” en la hoja de cálculo “PRODUCCIÓN”.

Una vez realizado esto se hallará la media aritmética con el objetivo de que la instalación este diseñada para cubrir entorno al 30% del consumo eléctrico diario durante todo el año, como es lógico habrá días o temporadas del año donde la cobertura de la instalación fotovoltaica será menor, pero esto será compensado con otros días/temporadas donde la producción aumentará y se cubrirá una producción más alta que la fijada en el objetivo inicial. En conclusión, el objetivo es que, al finalizar el año, la instalación haya supuesto un ahorro a la industria de un 30% en cuanto a electricidad.

Mes	Objetivo (30%)	Producción (Un módulo)	Número de placas necesarias
	kWh	kWh	
Enero	151,1516129	0,717282246021768	211
Febrero	141,8357143	0,887936159416714	160
Marzo	147,2516129	1,081409572160530	137
Abril	113,1	1,114487612284150	102
Mayo	138,6677419	1,108648237604110	126
Junio	145,745	1,184064340707650	124
Julio	150,3096774	1,158660927369820	130
Agosto	138,8225806	1,114264873153810	125
Septiembre	128,89	1,041996250540100	124
Octubre	154,7032258	0,899566791717277	172
Noviembre	182,92	0,722008120688475	254
Diciembre	190,5774194	0,640608256158920	298
Numero de placas medias necesarias			164

Tabla 27. Número de placas necesarias para cubrir el objetivo de consumo por mes. Elaboración propia

El número de placas medias que serían necesarias para cubrir el 30% del consumo eléctrico anual sería 164. A continuación, se va a analizar el ahorro que esta instalación supondría para cada uno de los meses del año y el ahorro que supone sobre el total de electricidad consumida para todo el año 2019.

Para realizar estos cálculos se ha realizado una comparativa día por día del ahorro que esta instalación de 164 placas solares supondría a la industria en el día en cuestión, posteriormente se ha sumado el ahorro de todos los días del mes y finalmente se ha sumado el ahorro de todos los meses obteniendo las cifras de ahorro total, la cual será comparada con la cifra de consumo total en el año 2019 para comprobar si se cumple el objetivo fijado de 30% de ahorro al final de año. Este procedimiento puede observarse detalladamente en la hoja de cálculo de cada uno de los meses y en la hoja “PRODUCCIÓN” se encontrará el resumen mostrado en la tabla 27 en el Excel adjunto “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019”.

Mes	Consumo total	Ahorro	Ahorro
	kWh	kWh	(%)
Enero	15.619,00	3.646,66	23,3476083
Febrero	13238	4077,40284	30,8007467
Marzo	15.216,00	5.497,89	36,1322704
Abril	11687	5666,05502	48,4816892
Mayo	14329	5636,36764	39,3353873
Junio	14574,5	5825,59656	39,9711589
Julio	15532	5890,63215	37,92578
Agosto	14.345,00	5.664,92	39,4905724
Septiembre	12889	5126,62155	39,7751692
Octubre	15986	4573,39757	28,6087675
Noviembre	18292	3552,27995	19,4198554
Diciembre	19.693,00	3.256,85	16,538122
TOTAL	181.400,50	58.414,68	32,2020488

Tabla 28. Resumen de los resultados de consumo-ahorro para todo el año 2019. Elaboración propia.

Como podemos observar la cifra total de ahorro supera el 30% para ser más exactos 32,2%, esto evidencia que una instalación de estas características permitiría reducir a Recuperaciones Íscar el coste en electricidad en un 32,2% a cambio de realizar una inversión fácilmente reembolsable con este ahorro. Los resultados mostrados en la tabla 28 pueden observarse en el Excel adjunto “Consumo-ahorro. Recuperaciones Iscar 2019” en la hoja de cálculo “RESULTADOS 2019”.

Como ya se comentó anteriormente no en todos los meses se podría conseguir alcanzar el objetivo de ahorro debido a las condiciones climatológicas, estos meses como podemos observar en la tabla de resumen de los resultados son: enero, octubre, noviembre y diciembre, pero por contrapartida encontramos los meses de verano junio, julio, agosto e incluso septiembre donde el objetivo se supera con creces, lo que permite cumplir el objetivo a fin de año del ahorro del 30% en consumo eléctrico.

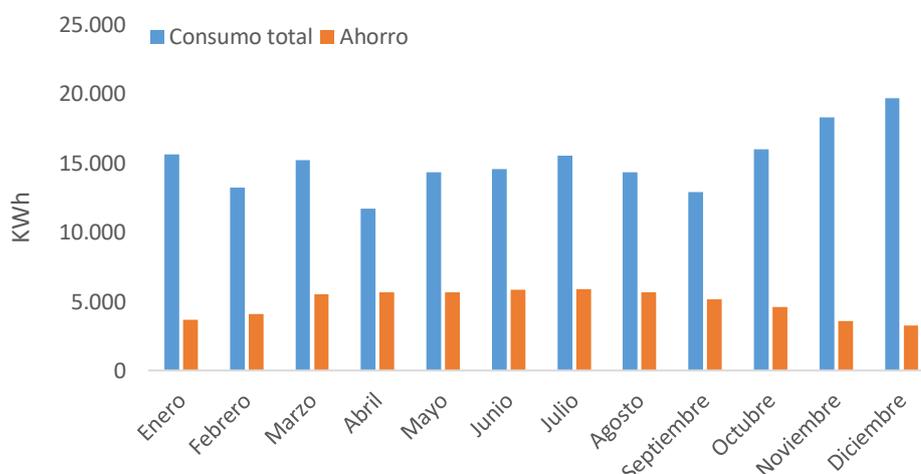


Ilustración 63. Resumen consumo-ahorro para 2019. Elaboración propia.



Conclusiones.

Tal y como se comentó en la introducción el sistema de gestión del sector energético en España presenta severos problemas que afectan al desarrollo del país. En los objetivos se fijó la necesidad de ilustrar y dar respuestas a cada uno de estos problemas.

1- *“Ilustrar la crisis del sector energético en España”.*

Respecto al grado de dependencia energética como se ha ilustrado en el trabajo, es cierto que España tiene graves problemas en este aspecto ya que su actividad social y económica depende de manera directa de las importaciones de energía del exterior.

La solución pasa por comenzar a sustituir la energía proveniente de combustibles fósiles importados del extranjero por energía autóctona, el reto que se le presenta a España es crear un sistema energético adaptado a los recursos del país, esto requerirá una transición la cual ha de ser transversal y duradera en el tiempo. Por ello es importante destacar la necesidad de crear un plan estratégico de acción a largo plazo cuyo objetivo prioritario sea la implantación total de las energías renovables en el sector energético español, esta será la única manera de reducir el grado de dependencia energética y conseguir una economía sostenible.

La descompensación entre producción y consumo energético se ha analizado desde dos líneas de trabajo fundamentales:

- En primer lugar, se ha llegado a la conclusión que un país como España cuyas cifras de producción energética son tan bajas no puede consumir tanta energía, esto requerirá una revolución en la actividad económica del país con el objetivo de reducir el consumo en las industrias y centros de trabajo.
- En segundo lugar, se ha analizado el origen de la energía consumida y producida, como se puede ver en la tabla 2 y 3 en la última década el 60% de la energía consumida en España proviene de combustibles fósiles mientras que estos combustibles solo suponen el 1% del total de la producción energética. Por lo tanto, a la necesidad de disminuir la cantidad de energía que se consume será necesario fomentar la producción energética, ofreciendo ayuda a los inversores interesados en explotar los recursos energéticos españoles.

El problema de la alta intensidad energética está íntimamente unido con la necesidad de ahorro en la actividad económica. España necesita revolucionar su economía, en concreto su industria con el objetivo de generar más bienes a cambio de consumir menos energía, esto se puede conseguir promoviendo el uso de nuevas máquinas, más modernas, las cuales siempre son más eficientes que las antiguas y el uso de sistemas de autoconsumo que permitirán a las industrias reducir de manera directa su consumo energético.

2- **“Conocer la situación de las energías renovables y del autoconsumo fotovoltaico en España”.**

En el capítulo 2 se ha analizado la actual situación con respecto a las energías renovables en España, haciendo hincapié en el estudio del Plan de Acción Nacional para las Energías Renovables, el plan estratégico más reciente en cuanto a esta materia se refiere. Las medidas que se tomaron en él con respecto a las energías renovables, aunque de momento son escasas, muestra una situación prometedora ya que demuestra que los políticos españoles son conscientes que la sostenibilidad económica del país pasa por la implantación de las mismas.

En este mismo capítulo se han analizado los trámites administrativos necesarios a seguir para la implantación del autoconsumo fotovoltaico. El cual está regulado a través de los reales decretos: Real Decreto Ley 15/2018 y Real Decreto Ley 244/2019. Los tramites a seguir son escasos y completamente asequibles desde el punto de vista económico, ya que las tasas a pagar para reunir la documentación necesaria son mínimas

Por último, se han fijado los factores tanto positivos como negativos a tener en cuenta a la hora de establecer una instalación de estas características siendo el balance completamente positivo y los factores negativos totalmente mitigables.

3- **“Demostrar y cuantificar el ahorro energético que supondría una instalación de autoconsumo fotovoltaico en una planta industrial de alto consumo”.**

Gracias a los datos aportados por Recuperaciones Íscar y el modelo de simulación elaborado a través del software Simulink, se ha podido evidenciar que el autoconsumo fotovoltaico es una opción más que posible para contribuir al ahorro energético y sumarse a la transición energética necesaria en España, ya que con una instalación sencilla de 164 módulos solares que ocupan aproximadamente 222 m² se podría cubrir el 30% de la demanda eléctrica anual de la planta industrial.

Por último, el objetivo principal de este trabajo era destacar la importancia de las energías e ilustrar como una mala gestión de las mismas como ocurre en España puede ocasionar problemas a diferentes niveles. Una vez ilustrado la importancia de las mismas y la crisis en la que desde hace años se encuentra inmerso el sector energético español se ha tratado de exponer una solución a la misma: el autoconsumo fotovoltaico, mostrando que realmente funciona y que es digno de estudio de cara al futuro.

Las posibles futuras líneas de trabajo podrían ser: profundizar aún más en los motivos de la crisis energética en España, analizar minuciosamente los trámites administrativos necesarios a seguir y la fiscalidad que regula el autoconsumo fotovoltaico proponiendo facilidades para los inversores y por último, mejorar y continuar con el proyecto de instalación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico en Recuperaciones Íscar, yendo un paso más allá y tratando de crear un sistema más eficiente que sin muchos requisitos técnicos pudiese suministrar a la industria el total de la energía que necesita llegando a ser totalmente independiente del sistema energético español.



Agradecimientos.

A Jesús Ángel Pisano por aceptar desde el primer momento a tutelar este trabajo y tenderme una mano siempre que lo he necesitado.

A todos los profesores de la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid por enseñarme todos los conocimientos adquiridos durante estos 4 años.

A todo el equipo de ETRM de Everis Valladolid por su paciencia a la hora de enseñarme y despertar en mí el interés por el mundo de las energías.

A todo el equipo directivo y trabajadores de Recuperaciones Íscar por ayudarme y permitirme emplear sus datos de consumo eléctrico en mi trabajo.

A mis amigos y compañeros de carrera por su ayuda y generosidad durante estos 4 años.

A mis amigos de HDH por seguir creciendo juntos y superar muchas más etapas.

Por último, a mi familia, a los que ya no estaban aquí cuando empecé este camino, los que se han ido mientras lo transcurría y los que siguen aquí, conmigo, vosotros habéis sido la luz durante estos 4 años. Gracias.



Bibliografía.

Laboratorio Nacional de las Energías Renovables de Méjico. (s.f.).

Acciona. (s.f.). *Acciona Business an Unusual*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/lineas-de-negocio/energia/?gclid=Cj0KCQjwudb3BRC9ARIsAEa-vUt-OPE2Axr6wbuxi6UrGeCMAufZiaCkl-an6ecfWtgksiw-WvCYOm0aAlaOEALw_wcB

Alonso, J. M. (s.f.). *Dependencia y vulnerabilidades energéticas*.

Asociacion de Empresas de Energías Renovables. (s.f.). *APPA renovables*. Obtenido de <https://www.appa.es/la-energia-en-espana/produccion-nacional-y-autoabastecimiento/>

Asociación de Empresas de Energías Renovables. (s.f.). *Estudio del impacto macroeconómico de las energías renovables en España (2018)*.

Autosolar. (s.f.). *Autosolar.es*. Obtenido de https://autosolar.es/?gclid=Cj0KCQjwudb3BRC9ARIsAEa-vUuqX6q4-R2ucFBrOqZjaa0nnNboBwh2_ZLpHNnoqSAafyr_hx9x67UaAk9sEALw_wcB

Barrero, A. (s.f.). Red Eléctrica España y energía fotovoltaica. *Energías Renovables*.

Cambio Energético. (s.f.). *cambioenergetico.com*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/autoconsumo-industrial/>

Capella, J. R. (s.f.). La energía, problema central de la economía española. *Mientras Tanto*.

Carbonell, M. (s.f.). *Hogarsense*. Obtenido de <https://www.hogarsense.es/energia-solar/coste-paneles-fotovoltaicos>

Climatedata. (s.f.). *Climatedata.eu*. Obtenido de
<https://www.climatedata.eu/climate.php?loc=spxx0195&lang=es>

Cordero, R. G. (s.f.). ¿Que es el autoconsumo solar? *Sunfields Europe*.

Ecológica, M. p. (2018). *Real Decreto Ley 15/2018*.

Economipedia. (s.f.). *Economipedia diccionario economico*. Obtenido de
<https://economipedia.com/definiciones/intensidad-energetica.html>

El Periodico de la Energía. (s.f.). *El Periodico de la Energía*. Obtenido de
<https://elperiodicodelaenergia.com/todos-los-impuestos-energeticos-en-espana-tienen-un-objetivo-recaudatorio-mas-que-medioambiental/>

Energías Renovables y Limpias. (s.f.). *energias-renovables.com*. Obtenido de
<https://www.energias-renovables.com/>

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f.). *foronuclear.org*. Obtenido de
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-espana/>

Fundacion para la Eficiencia Energetica y el Medioambiente. (s.f.). *Fundacion para la Eficiencia Energetica y el Medioambiente*. Obtenido de
<http://www.f2e.es/es/recomendaciones-para-una-fiscalidad-energetica-eficiente-en-espana>

Fundación para la Eficiencia Energética y el Medioambiente. (s.f.). *Fundación para la Eficiencia Energética y el Medioambiente*. Obtenido de
<http://www.f2e.es/es/recomendaciones-para-una-fiscalidad-energetica-eficiente-en-espana>

GreenTech. (s.f.). *Greentecher*. Obtenido de
<https://www.greentecher.com/capacitacion/1-energa-solar-fotovoltaica>

Holtrop, P. (22 de Noviembre de 2017). Autoconsumo remoto. *Periódico de la energía*.

Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Horas de sol en el territorio español*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (s.f.). *Análisis de la evolución de la intensidad energética en España*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (s.f.). IDAE.es. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>

Jesus Román, S. P. (s.f.). *Reduccion de CO2 por la instalacion de autoconsumo*.

José Antonio Galdón Ruiz, B. M. (2016). La dependencia energética en España por sectores y su impacto económico. *Técnica Industrial*.

La Generación del Sol. (s.f.). *La Generación del Sol*. Obtenido de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/tema-2-funcionamiento-gral-de-instalacion-fv.pdf>

Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley. (2015). *Selling Into the Sun*.

Luis Villafruela Arranz, M. R. (s.f.). *Demanda de energía eléctrica en España: análisis de su evolución histórica y causas de variación*.

Metereología, A. E. (2019). *Histórico de las temperaturas en España*.

Ministerio de Industria Comercio y Turismo e Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. (2010). *Plan de Acción de las Energías Renovables de España (2011-2020)*. Gobierno de España.

Ministerio para la Transición Ecologica. (2017). *Libro de la energía 2017*. Gobierno de España.

Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Real Decreto Ley 244/2019*. Gobierno de España.

Ministerio para la Transición Ecológica. (s.f.). *Guía para el desarrollo de normativa local en la lucha contra el cambio climático*.

Morante, J. (s.f.). *La energía solar fotovoltaica: evaluación tecnológica y económica*.

Planells, M. (29 de Diciembre de 2018). España se despide del carbón con el cierre de todas las minas. *El País*.

Plataforma SomeEnergía. (s.f.). *Plataforma SomeEnergía*. Obtenido de <https://plataforma.somenergia.coop/file/view/23948/funcionamiento-del-mercado-electricoptx>

Sanatana, L. M. (s.f.). *Universidad Carlos III*. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26446/tesis-laura-martin-santana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Selectra Autoconsumo. (s.f.). *selectra.es*. Obtenido de <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa/impuesto-sol#derrogacion-impuesto-al-sol>

Universidad de Antioquía. (s.f.). *Corriente a través de un diodo*.