



GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Escuela de Ingenierías Industriales

Universidad de Valladolid

06/09/2021



ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES EN PEQUEÑAS PLANTAS FOTOVOLTAICAS

Mario Obispo Alonso

Trabajo de fin de grado

Tutor: MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ REBOLLO

Departamento de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y
Mineralogía

Cotutora: NATALIA MARTÍN CRUZ

Departamento de Organización de Empresas

Agradecimientos:

Me gustaría expresar mis más sinceros agradecimientos a mi tutor Miguel Ángel González Rebollo, por sus sugerencias, orientación y la idea de desarrollar este trabajo. También me gustaría agradecer a mi cotutora, Natalia Martín Cruz, por la dedicación también al correcto desarrollo de este trabajo, así como al profesor Jorge Serrano y el resto de integrantes del trabajo colaborativo. Por otro lado, me gustaría mostrar mi agradecimiento a todos los profesores de la Escuela que me han formado y ayudado a lo largo de mi etapa Universitaria.

Finalmente, me quiero acordar de mi familia y amigos, por toda su ayuda, apoyo y comprensión a lo largo de toda mi vida académica.

RESUMEN

En respuesta al Cambio Climático y en pos de una mayor independencia energética, estados, empresas y ciudadanos apuestan, cada día en mayor medida, por la Energía Solar Fotovoltaica, una energía limpia y económica, como una fuente de suministro energético.

Sin embargo, pese a que en el proceso de producción energética se trata de una fuente de energía neutra en CO₂ y otros gases de efecto invernadero, la gran demanda de los tiempos presentes y futuros, puede provocar numerosos problemas de gestión de residuos, debido al fin de la vida útil de muchos paneles solares. Así aunque el Silicio es un elemento común, el proceso de producción del panel requiere de grandes cantidades de energía, además del empleo de algunos materiales tóxicos, por lo que para disminuir la huella ecológica, se tratará de incrementar el tiempo de vida útil del panel.

En el marco de la Economía Circular, con el objetivo de alargar el tiempo de vida de los paneles solares, en este proyecto, se valorará la posibilidad de la reutilización de paneles, desde un punto de vista económico para un particular y se creará una herramienta capaz de calcular que beneficios podría esperar un usuario en el suceso de que decida colocar una instalación fotovoltaica para reducir su tarifa eléctrica.

PALABRAS CLAVE

Energía solar, fotovoltaica, reutilización, cálculo de la rentabilidad, paneles

ABSTRACT

In response to Climate Change and in pursuit of greater energy independence, states, companies and citizens are increasingly betting on Photovoltaic Solar Energy, a clean and economical energy, as a source of energy supply.

However, even though in the energy production process it is a neutral energy source in CO₂ and other greenhouse gases, the great demand of the present and future times, can cause numerous problems of waste management, due to the end of life of many solar panels. Although Silicon is a common element, the panel production process requires large amounts of energy, in addition to the use of some toxic materials, so to reduce the ecological footprint, we will try to increase the useful life of the panel.

In the framework of the Circular Economy, in order to extend the lifetime of solar panels, in this project, the possibility of reusing panels will be assessed, from an economic point of view for an individual and a tool will be created able to calculate what benefits a user could expect in the event that he decides to install a photovoltaic installation to reduce his electricity tariff.

ÍNDICE

Resumen	4
PALABRAS CLAVE.....	4
Abstract	5
índice de ilustraciones	9
Índice de tablas	11
1 Introducción	13
1.1 Precedentes:	13
1.2 Estructura spin-off	13
1.3 Contexto.....	14
1.4 Objetivo del trabajo.....	15
2 Energía solar fotovoltaica	17
2.1 Sistemas fotovoltaicos	17
2.2 Partes del panel fotovoltaico	19
2.3 Tipos de paneles según la estructura interna de la célula	20
2.4 Paneles más comunes	21
2.5 Características eléctricas	24
2.6 Curva Intensidad- Voltaje (I-V).....	25
2.7 Irradiancia y Curva Potencia- Voltaje (P-V)	27
3 Ciclo de vida de los paneles solares	30
3.1 Desechado de los paneles	31
3.2 Reutilización de paneles	32
3.3 Reciclado paneles.....	33
4 Estado del mercado.....	36
4.1 Las renovables en el mundo, evolución actual e histórica del mercado....	37
4.2 Evolución actual e histórica del mercado en España	39
5 El Sistema eléctrico Español	42
5.1 Funcionamiento del sistema eléctrico	42
5.2 El mercado eléctrico	42
5.3 Composición de la factura.....	44
5.4 Evolución futura precios de la electricidad	45

6	Explicación del cálculo de la rentabilidad.....	49
6.1	Conceptos económicos	49
6.2	Como aplicamos los conceptos económicos anteriores al proyecto	50
7	Justificación de la selección tecnológica	53
7.1	Necesidades.....	53
7.2	Soluciones	54
8	Parámetros de impacto en el cálculo.....	55
8.1	El precio de la electricidad	55
8.2	Impuestos.....	60
8.3	Excedentes	61
8.4	Tipo instalación	62
8.5	Localización.....	63
8.6	Orientación	65
8.7	Consumo del usuario.....	69
8.8	Coste de los paneles fotovoltaicos	70
8.9	Materiales auxiliares de la instalación.....	73
8.10	Potencia máxima paneles usados	75
8.11	Degradación paneles solares.....	75
9	Funcionamiento de la Herramienta	78
9.1	Inicio.....	79
9.2	Hoja cliente.....	79
9.3	Hoja BIPV	83
9.4	Resumen	87
10	Caso práctico	89
10.1	Hoja de cliente.....	89
10.2	Hoja BIPV	92
10.3	Resolución	93
10.4	Caso de cambio de tarifa.....	95
11	Futuras líneas de investigación.....	97
12	Conclusiones.....	98
13	Bibliografía	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sistema Fotovoltaico	18
Ilustración 2: Capas Paneles Solares.....	20
Ilustración 3: Estructura Interna Célula Monocristalina . ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 4: Estructura Interna Célula Policristalina..... ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 5: Estructura Interna Célula Amorfa	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 6: Célula de Silicio Monocristalina.....	21
Ilustración 7: Célula de Silicio Policristalina	22
Ilustración 8: Célula Panel Silicio Amorfo	23
Ilustración 9: Curva I-T. Fuente: http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html	25
Ilustración 10: Curva I-V comparativa estado del módulo.....	25
Ilustración 11: Curva I-V caso string roto	26
Ilustración 12: Curva I-V cuando se produce oxidación en los contactos entre células	26
Ilustración 13: Curva Potencia- Tensión. Fuente: https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga	27
Ilustración 14: Gráfica P-V. Potencia Máxima. Fuente: https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga	27
Ilustración 15: Ilustración 2: Eficiencia de los Módulos frente a diferentes Irradiancias [15]	28
Ilustración 16: Curva de Potencia según la irradiancia. Fuente: https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html	29
Ilustración 17: Ciclo de Vida Paneles Solares [16]	30
Ilustración 18: Tendencias de las Energías Renovables. Fuente: https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs	37
Ilustración 19: Consumo de Renovables por macroregiones. Fuente: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf	38
Ilustración 20: Evolución del Precio de Producir Energía Fotovoltaica. Fuente: https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs	39
Ilustración 21: Capacidad Fotovoltaica Instalada en la UE por países. Fuente: https://unef.es/descargas/	40

Ilustración 22: Generación Solar Anual en España en GW/h. Fuente: https://unef.es/descargas/	40
Ilustración 23: Generación por Comunidades. Fuente: https://unef.es/descargas/	41
Ilustración 24: Gráfico precios mensuales de la factura para el usuario medio entre 1993 y 2013 [32].....	46
Ilustración 25: Evolución precio MW/h	47
Ilustración 26: Producción de los Módulos con Orientación Sur(verde) frente a los de Orientación Oeste(amarillo) [50]	65
Ilustración 27: Módulos Orientación Este-Oeste (https://cambioenergetico.com/blog/como-oriento-las-placas-solares/)	66
Ilustración 28: Producción Orientación Sur vs Orientación Este-Oeste [50].....	66
Ilustración 29: Curva Orientación Sur	67
Ilustración 30: Horas totales día -vs- Potencia a la que produce un panel.....	68
Ilustración 31: Estructura Soportante [54].....	73
Ilustración 32: Inversor Solar (https://www.hgingeneria.com.co/que-es-un-inversor-solar-y-cual-es-su-funcion-en-los-sistemas-fotovoltaicos/)	74
Ilustración 33: Evolución eficiencia paneles Jinko. Fuente: https://tecnosolab.com/placas-solares-por-unidad	76
Ilustración 34: Valoración rentabilidad instalando 2kW.....	93
Ilustración 35: Valoración rentabilidad instalando 3kW.....	94
Ilustración 36: Valoración rentabilidad instalando 2kW.....	94
Ilustración 37: Recambio de Paneles configuración	95
Ilustración 38: Resultados rentabilidad cambiando tarifa	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficio Potencial Extracción Materiales [17].....	34
Tabla 2: Beneficio Potencial de la Extracción de Componentes [17].....	34
Tabla 3: Tarifa de Acceso 2.0 A/2.1 A. Fuente: https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas	57
Tabla 4: Tarifa de Acceso 2.0 DHA/2.1 DHA. Fuente: https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas	57
Tabla 5:Tabla 2: Tarifa de Acceso 2.0 DHS/2.1 DHS. Fuente: https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas	58
Tabla 6: Tarifa Eléctrica Indexada. Fuente: https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas	58
Tabla 7: Tarifas de Acceso 2.0 TD. Fuente: https://comparador.cnmc.gob.es/comparador/listado/10D00C4BB3F10DAB7B5D5198BFB3F7CD0FE175947D7B3DBFBC8794D9EEA8F004A1DAB61262DD8001	60
Tabla 8: Precios Placas Solares. Fuentes: https://tecnosolab.com/placas-solares-por-unidad // https://www.damiasolar.com/productos/paneles-solares-1	72
Tabla 9: Precios Componentes Auxiliares. Fuente: https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas/2-0	75
Tabla 10: Tarifa Usuario.....	89
Tabla 11: Consumo del Usuario	90
Tabla 12: Hoja Cliente.....	91
Tabla 13: Hoja BIPV selección paneles.....	92
Tabla 14: Hoja BIPV.....	93

ANEJOS

Anejados al documento se encontrarán:

- ANEJO 1: Acceso al Formulario y Carga de los Datos en la Hoja Excel
- ANEJO 2: Guía para el relleno del formulario

1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo de fin de grado se enmarca en un proyecto colaborativo, llevado a cabo por el grupo de investigación Optronlab, junto con Natalia Martín Cruz, profesora en el Master in Business Administración de la Universidad de Valladolid. En él se valora la posibilidad de crear una spin-off dedicada a la prestación de servicios sobre los cálculos económicos que se necesitan para realizar una instalación solar fotovoltaica, a través de la reutilización de paneles solares. Además, se buscarían formas de validar la eficacia y buen funcionamiento del panel.

En este escrito se tratará de mostrar los pasos seguidos y decisiones tomadas, que han dado como resultado una sencilla aplicación que, a través de un formulario con unos datos de entrada, que analicen la situación de un cliente, permite valorar la rentabilidad que obtendría este, instalando paneles solares usados, y comparar esta situación frente a instalar paneles nuevos. Para ello se analizan multitud de variables que influyen en la idoneidad de realizar la instalación, y los posibles resultados de esta.

Finalmente, se analizará un caso real de como una instalación fotovoltaica con paneles usados podría mejorar las finanzas de un cliente en el medio largo/plazo utilizando la aplicación.

1.1 PRECEDENTES:

Este trabajo es continuación del trabajo de fin de grado en Ingeniería en Organización Industrial de María González Cano, tutelado por Miguel Ángel González Rebollo, donde se hacía un estudio de forma técnica y económica de la reutilización de los paneles fotovoltaicos de Silicio, con el fin reducir la inversión inicial de las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico y de ofrecer una segunda vida a los módulos que resultan aptos para continuar produciendo energía.

1.2 ESTRUCTURA SPIN-OFF

Datos e información correspondiente a la spin-off:

- Nombre del proyecto: Faetón
- Ubicación Geográfica: Paseo de Belén, 19, 47011 Valladolid – Edificio LUCIA
- Fecha de inicio prevista de la actividad: 01/09/2021
- Forma jurídica: Sociedad Limitada (S.L.)

1.2.1 Integrantes del Proyecto

- ❖ Miguel Ángel González Rebollo,
Catedrático de Física de la Materia Condensada en la Universidad de Valladolid.
- ❖ Natalia Martín Cruz,
Catedrática de la Universidad de Valladolid.
- ❖ Jorge Serrano Gutiérrez,
Profesor del departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Valladolid.
- ❖ Ana Ranero Mata,
estudiante de Ingeniería en Organización Industrial en la Universidad de Valladolid.
- ❖ Héctor Raúl García Álvarez,
estudiante de Master en Administración de Empresas en la Universidad de Valladolid.
- ❖ Sotirios Fotopoulos,
estudiante de Master en Administración de Empresas en la Universidad de Valladolid.
- ❖ Mario Obispo,
estudiante de Ingeniería en Organización Industrial en la Universidad de Valladolid.

1.3 CONTEXTO

La humanidad se enfrenta a uno de los mayores retos de su existencia, que consiste en adaptarse e intentar minimizar el cambio climático y sus efectos. Tras más de 150 años basando la economía mundial en la quema de combustibles fósiles con fines industriales o de transporte, la gran mayoría de los organismos internacionales, se proponen una transición económica, en la que las energías renovables como la energía solar fotovoltaica tomen el relevo a los combustibles fósiles como principal fuente energética. Por ello, en la última década se están llevando a cabo ambiciosos planes de impulso de la energía solar, auspiciado además por la mejora de la eficiencia de los módulos, así como la reducción de los costes.

Otro de los grandes problemas a los que se enfrenta la especie humana, es la demanda de recursos naturales anualmente, tan elevada que la Tierra no tiene la capacidad de regenerar esa cantidad de recursos, lo cual provoca una paulatina disminución de las reservas naturales, endeudando a las generaciones futuras. Una de las principales soluciones a este problema, es el impulso de la economía circular, basada en el principio de las tres R, “reducción, reutilización y reciclaje”.

En el marco de este impulso a la economía circular surge la idea de la reutilización de paneles. Según J.D. Santos y M.C. Alonso-García, en su artículo: “Projection of the photovoltaic waste in Spain until 2050” [1], entre los años 2020 y 2030, en España se van a desechar unas 100.000 toneladas de módulos solares, en gran medida

debido al boom de los años 2007-2008, llegando a acumularse 700.000 toneladas de desperdicios en 2050. La reutilización de los módulos puede permitir ampliar la vida útil de estos, así como reducir la demanda de nuevos módulos solares, siendo una posible solución a esta problemática.

El sector de la tecnología solar se encuentra en un proceso de mejora continua, tanto en precios como sobre todo en eficiencias, siendo los de silicio, los principales paneles que se encuentran en el mercado, componiendo más del 95% del total de paneles instalados [2], por ello, en este trabajo, nos centraremos principalmente en los módulos fabricados utilizando células de silicio. En el año 2009, la eficiencia en condiciones óptimas de un panel solar monocristalino comercial era del 16% y la de un policristalino rondaba el 14%. [3] Hoy en día, múltiples fabricantes han conseguido paneles que superan el 20% de eficiencia, consiguiendo algunos superar el 22%. [4] Esta gran mejora de la eficiencia provoca grandes diferencias entre la capacidad de producción, de una instalación fotovoltaica que tenga paneles de tecnología punta y otros que no la tengan, ya que el espacio de la instalación es limitado, en la misma superficie se podría tener una instalación que vierta notablemente más energía en la red, y tenga unos beneficios superiores.

Esto puede propiciar el desechado de paneles en buen estado, y con años de vida funcionamiento por delante, que podrían ser reutilizados en una vivienda, gracias a que el precio al que se consume la electricidad en los hogares es muy superior al precio al que se comercia en el mercado mayorista, ya que hay que añadir prácticamente una decena de costes regulados que se expondrán más adelante en el apartado 5.2 y 8.1, como por ejemplo los de transporte y distribución, además de impuestos, que un cliente final se ahorraría produciendo la energía en su hogar.

El Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, también conocido como el decreto del autoconsumo es la principal legislación sobre el autoconsumo en España, y servirá como marco legal del proyecto, ya que en el se regulan temas como las diferentes modalidades de autoconsumo, la compensación de los excedentes o los trámites burocráticos respecto al autoconsumo.

1.4 OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo de este trabajo será el de crear una herramienta, que sirva los instaladores y comercializadores -aunque también podría ser utilizada por un particular- de paneles solares como guía para ofrecer a los clientes el cálculo de una rentabilidad esperada instalando alguno de los tipos de paneles solares que se encuentren entre su oferta, nuevos o usados, permitiendo calcular también el valor de la inversión inicial. A estos instaladores a lo largo de la herramienta, y gracias al estudio Delphi del proyecto realizado por Sotiris Fotopoulos en su TFM: “Estudio de modelo de negocio para la creación de una spin-off de paneles solares de segunda mano”, se les denominará BIPV (Business In PhotoVoltaics).

La herramienta deberá ser algo visual, que permita al usuario cierta personalización, como, por ejemplo, variar el tipo de paneles que oferta y las características de éstos. También deberá tener una interfaz sencilla e intuitiva para facilitar al potencial cliente la introducción de sus datos personales para el estudio de su situación particular.

Por ello en este trabajo se tratará de identificar las diferentes variables que influyen en la rentabilidad futura de una instalación de módulos solares fotovoltaicos para pequeños consumidores. Además, se intentará dar valores estándares para estas variables, así como se intentará simplificar otras para restar complejidad a la aplicación. De tal manera, se tratará de facilitar al usuario final la necesidad de incorporar información en la herramienta.

También, en el presente documento se explicará el origen y funcionamiento de algunas de las diferentes variables que determinen la rentabilidad esperada de una instalación fotovoltaica, así como la selección del programa informático con el cuál se implementará la herramienta, las motivaciones que han llevado a esta elección y como se parametrizan las diferentes variables en él.

2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar es la que llega a la Tierra en forma de rayos ultravioleta, luz o calor, procedente del sol. Esta es una energía limpia e ilimitada.

Esta energía la podemos aprovechar de dos maneras, mediante la conversión térmica o mediante conversión fotovoltaica. La primera consiste en transformar la energía solar en energía térmica. La segunda convierte la energía luminosa en energía eléctrica.

La energía solar térmica se utiliza el calor que produce el Sol para cocinar alimentos o calentar agua con el objetivo del uso doméstico. También para producir energía mecánica y a partir de ella, energía eléctrica. Otro uso más que se le puede dar, es utilizarla en una máquina de absorción que se dedique a refrigerar estancias interiores. [5]

La energía solar fotovoltaica es el producto de transformar la radiación solar en electricidad gracias a un semiconductor (la célula fotovoltaica). Esta tecnología se utiliza para producir energía eléctrica a tanto a gran escala, en grandes instalaciones, como en pequeña escala en aparatos como calculadoras, siendo utilizada en muchos más campos. Al utilizar la radiación solar, se considera a la energía solar fotovoltaica una energía limpia, ya que solo produce CO₂ en su proceso de fabricación, transporte e instalación, pero no durante su etapa de funcionamiento contribuyendo a reducir la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. [6]

El principal inconveniente de esta tecnología es la falta de disponibilidad continua en la producción eléctrica, debido a su dependencia a la disponibilidad solar, viendo afectada o interrumpida la producción, ya no solo durante la noche, sino en episodios de nubosidad o contaminación atmosférica, que obliga a depender de fuentes alternativas que mantengan el suministro eléctrico.

2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos se pueden presentar de diferentes maneras. Para mostrar los diferentes sistemas, se van a dividir en dos categorías, una para los que no están conectados a la red eléctrica y otra para los que, si están conectados e intercambian energía con la red eléctrica, ya sea de entrada de energía para el consumo o vertido de esta a la red. [7]

2.1.1 Sistemas sin acceso a la red

Sistemas autónomos sin almacenamiento: La energía solar se utiliza directamente de la célula solar. El sistema que se quiera hacer funcionar solo lo hará mientras

haya la luz suficiente. Es necesario calcular la célula solar para que tenga potencia suficiente para el aparato. Un ejemplo son algunas calculadoras solares. [7]

Sistemas autónomos con almacenamiento: Este sistema además de la célula solar dispone de una batería, que funciona como depósito permanente de energía. Además, es usual que el sistema funcione con corriente continua, no obstante, los aparatos receptores se servirán de corriente alterna por lo que se necesitará un convertidor DC/AC. El esquema de una instalación de este tipo puede ser [7]:



Ilustración 1: Sistema Fotovoltaico. Fuente: <https://es.slideshare.net/avalin/sistemas-de-energa-fotovoltaica>

Sistemas autónomos híbridos: Surge como respuesta a una de las limitaciones de los sistemas autónomos con almacenamiento, y es que la potencia generada depende del clima en ese momento del año. Por ello, los sistemas híbridos incluyen otra fuente generadora de energía como puede ser un sistema eólico. [7]

2.1.2 Sistemas Conectados a la Red

Sistemas conectados a la red con vertido de excedentes: Estos sistemas fotovoltaicos se conectan a la red de la zona en la que se encuentran. No necesitan baterías ya que cuando se genera más energía de la que se necesita esta se vierte a la red eléctrica, recibiendo una compensación, y si en cambio se necesita más de la que se produce se toma de esta red. Por otra parte, se necesita convertir la corriente continua generada en los paneles a la corriente alterna con la que funciona la red eléctrica. [7]

Sistemas conectados a la red sin compensación de excedentes: Son similares a los anteriores, sin embargo, no se recibe compensación alguna por el excedente. [7]

Sistemas de autoconsumo colectivo: Este sistema funciona para abastecer de energía a diferentes usuarios que compartan una misma instalación. Este tipo de sistemas suele estar orientado a comunidades de vecinos, un polígono de empresas o una urbanización y podrá estar acogido también a una compensación por excedente.

En este proyecto no se recogerá esta opción, debido a la complejidad que supone la previsión de la interacción de los diferentes usuarios, en términos de compensación de excedentes o de consumo de energía, ya que se necesitaría conocer los datos de todos los usuarios, y aumentar la potencia de cálculo de la herramienta. [8]

Sistemas de venta a la red: Son grandes instalaciones que participan en el mercado mayorista de electricidad, vierten toda la energía producida en la red recibiendo a cambio un beneficio económico. Estos sistemas aportan una cantidad significativa de la mezcla de energía en España. La licencia para explotar en régimen económico uno de estos sistemas se consigue a través de la subasta de las renovables a nivel estatal. [8]

2.2 PARTES DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Los paneles fotovoltaicos tienen la siguiente estructura:

- **Cubierta exterior:** La cubierta exterior tiene una función protectora frente a los agentes externos. La calidad de esta cubierta frontal influye sobre el rendimiento de la célula por lo que se utilizan materiales como el vidrio templado, gran conductor de la luz solar y también tiene cierta resistencia a impactos. [9]
- **Capas Encapsuladas:** Protegen la célula fotovoltaica tanto del agua como del oxígeno.

Un material utilizado para encapsular la célula es la EVA (etil-vinil-acetato). La EVA, un polímero termoplástico formado por unidades repetitivas de etileno y acetato de vinilo, permite una buena transmisión de la luz solar a la vez que ofrece nula degradación frente a la luz ultravioleta. Pese a ocupar el hueco entre las células y la cubierta aportando cohesión y amortiguando vibraciones, tiene algunos inconvenientes como su limitada vida útil y la tendencia a la adherencia de polvo. [9]

Un ejemplo de encapsulamiento es el de la imagen siguiente:



Ilustración 2: Capas Paneles Solares. Fuente: <https://www.diariorenovables.com/2017/06/tipos-de-encapsulamiento-en-celulas.html>

El encapsulado PVB destaca por su adherencia, transparencia y durabilidad. También tiene cierta resistencia mecánica. Sin embargo, el PVB presenta ciertos inconvenientes como el tener una tendencia mucho mayor a permear el agua que la EVA o una menor resistencia a las inclemencias climáticas. [10]

Otros encapsulados comunes son el encapsulado Teflon, muy resistente a la radiación ultravioleta y repelente de la suciedad, que se suele utilizar en módulos especiales de pequeña escala y el encapsulado de resina, mediante el cual dos láminas de cristal se adhieren entre sí mediante resina fundida. Se utiliza generalmente en módulos hechos a medida en fachadas, tejados y en dispositivos de protección solar. [11]

- **Marco de Apoyo:** Tiene la utilidad de servir de apoyo a la placa, así como de darle robustez y consistencia.
- **Protección posterior:** Es una capa que se coloca debajo de la célula para dotarla de una protección adicional. El material más utilizado para esta cubierta posterior es el Tedlar por su buena resistencia frente a las condiciones atmosféricas.
- **Caja de conexiones eléctricas:** Es por donde se extrae la electricidad.
- **Células fotovoltaicas:** También conocida como célula fotoeléctrica, utiliza el efecto fotoeléctrico para transformar la energía lumínica de los fotones en

2.3 PANELES MÁS COMUNES

Como se dijo anteriormente, en este trabajo nos centraremos en los Paneles de Silicio por ser los más comunes en el mercado, formando hasta el 95% de este. [12]

2.3.1 Panel de Silicio Monocristalino

La célula está constituida por un único cristal de Silicio con estructura muy uniforme. Dota al panel de un rendimiento superior al del resto de materiales ya que los átomos de silicio están perfectamente alineados facilitando la conductividad. Las células de silicio monocristalino suelen presentar una forma cuadrada con esquinas redondeadas, aunque antiguamente tenían forma redondeada [13]. La esquina de conexiones tiene forma ortogonal. [9] Un ejemplo de célula es el siguiente:



Ilustración 3: Célula de Silicio Monocristalina. Fuente: https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/#Tipos_de_placas_fotovoltaicas_segun_su_uso_o_aplicacion

Ventajas

- Rendimiento de entre el 18%-25%. (Porcentaje de la energía solar recibida que se transforma en energía eléctrica)
- Mayor vida útil.
- Mejor funcionamiento a baja radiación solar.
- Mejor funcionamiento a bajas temperaturas.
- Mayor eficiencia a largo plazo.

Inconvenientes

- Proceso de fabricación más largo.
- Proceso de fabricación más costoso energéticamente.
- Disminuye su rendimiento cuando aumenta la temperatura ambiente.
- Gran derroche de silicio en el proceso de fabricación
- Peor comportamiento de una instalación en el caso de sombras parciales.

2.3.2 Panel de Silicio Policristalino

Tiene una superficie y color irregular (el más común es el azulado) y una estructura totalmente cuadrada. Una manera de diferenciarlos de los monocristalinos es la forma ya que la esquina forma un ángulo de 90°. El panel tienen un rendimiento inferior al monocristalino, aunque el coste de fabricación es aún menor. [14]



Ilustración 4: Célula de Silicio Policristalina. Fuente: <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-el-silicio-policristalino>

Ventajas

- Mejor funcionamiento a temperaturas altas.
- Se desperdicia menos silicio en el proceso de fabricación.
- Menor coste de fabricación

Inconvenientes

- Menor rendimiento que la célula monocristalina, entre el 16% y el 20%.
- Al tener un rendimiento inferior se necesita utilizar una mayor superficie para obtener la misma potencia.
- Peor rendimiento que el monocristalino en zonas de baja radiación solar

2.3.3 Panel de Silicio Amorfo

Son los más económicos (tienen cincuenta veces menos espesor que los monocristalinos) aunque proporcionan un menor rendimiento. El rendimiento en el laboratorio ronda el 16% mientras que en la práctica este no suele llegar al 10%. La fabricación de estos paneles consiste en colocar una fina capa de amorfo de silicio sobre una superficie, ya sea vidrio, plástico u otro material. Los medios para fabricar estos módulos son caros, sin embargo, el ahorro en silicio que se produce les dota de cierta competitividad en precios. [15]



Ilustración 5: Célula Panel Silicio Amorfo. Fuente: <https://www.tiendafotovoltaica.es/Modulo-solar-12V/4W-silicio-amorfo-con-marco-aluminio>

Ventajas

- El proceso de fabricación es sencillo.
- Se produce en gran ahorro en Silicio en comparación con los Monocristalinos.
- Se pueden incluir diferentes formas o colores en la fabricación lo cual potencia la integración arquitectónica.
- Aportan un buen rendimiento a altas temperaturas
- Buen comportamiento en zonas de sombras parciales.

Inconvenientes

- Tiene un rendimiento bastante bajo, entre el 10% y el 15%
- Menor vida útil que otro tipo de módulos

2.3.4 Paneles bifaciales

Son paneles solares de Silicio, comúnmente monocristalinos, de doble cara, es decir, convierten en corriente eléctrica la energía solar que les llega a cualquiera de sus caras. Estos paneles se empezaron a fabricar con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, es decir, producir una mayor energía ocupando un mismo espacio físico. Los paneles bifaciales no suponen una tecnología distinta (en el aspecto físico-molecular), sino que consiste en incorporar también una célula de silicio u otro material a la capa inferior del módulo, que en las células convencionales es opaca.

Las principales áreas de utilización son superficies industriales planas o instalaciones ancladas al suelo.

2.4 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Algunas de las características eléctricas más importantes de un módulo son [16] [17]:

- **Potencia Nominal o Potencia Pico (P_{nom}):** Medida en Vatios es la máxima potencia que puede entregar un panel en condiciones determinadas de radiación y temperatura.
- **Tolerancia de Potencia:** Se puede medir en vatios o en % sobre la potencia nominal y es la potencia pico real que puede tener un panel.
- **Eficiencia del Panel:** Relación entre la potencia producida por el panel solar y la potencia de radiación que incide sobre él.
- **Tensión Máxima de Potencia (V_{mp}):** Voltaje que proporcionará un panel en su punto de máxima potencia en unas condiciones estándar de medida.
- **Corriente Máxima de Potencia (I_{mp}):** Corriente que proporcionará el panel en su punto de máxima potencia en unas condiciones estándar de medida.
- **Tensión de Circuito (V_{oc}):** Utilizando un voltímetro sin tener ninguna carga conectada al panel, tensión máxima del panel suponiendo que trabaja como generador. Variará con las condiciones atmosféricas.
- **Corriente de Corto Circuito (I_{sc}):** Es la corriente que se produce cuando la tensión es 0V. Sería la máxima corriente que se podría obtener en un estado ideal.
- **Tolerancia:** Pequeña variación en la eficiencia que presentan los paneles solares ya que tras el proceso de fabricación los paneles no son 100% idénticos

2.5 CURVA INTENSIDAD- VOLTAJE (I-V)

Es una curva que relaciona la intensidad de corriente que produce un panel con la tensión entre sus terminales. Esta curva tiene la misma forma para todos los paneles, concediendo una alta intensidad de corriente cuando la tensión es muy baja, y cuando esta tensión aumenta mucho, la intensidad tiende a 0.

La curva tiene esta forma:

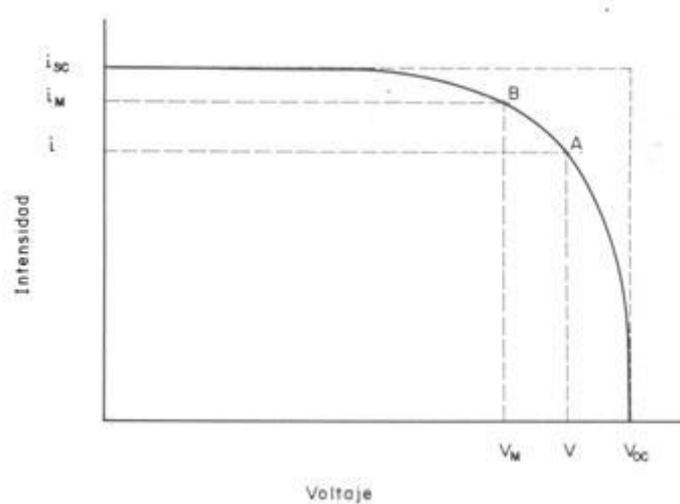


Ilustración 6: Curva I-T. Fuente: <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>

El experimento se realiza en laboratorio y siguiendo la norma, bajo el efecto de una irradiancia de 1000 W/m^2 .

Esta curva es muy útil para medir posibles defectos del panel.

Como se puede ver en la ilustración 7, el panel en buen estado producirá una mayor intensidad de corriente a la misma potencia, que un módulo más desgastado. [18]

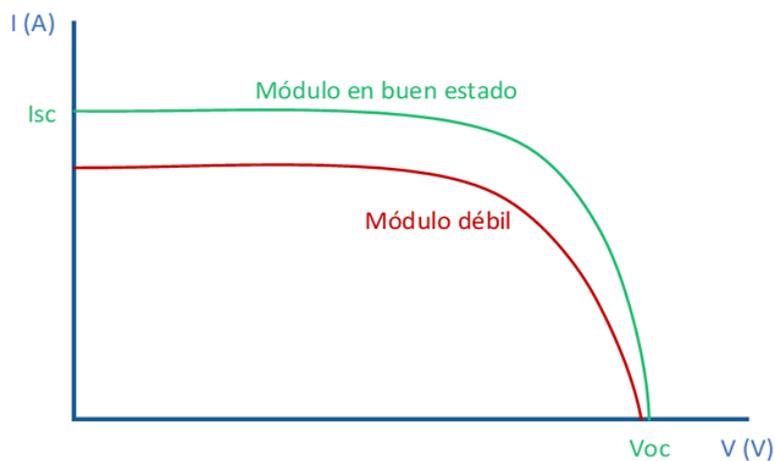


Ilustración 7: Curva I-V comparativa estado del módulo buen estado-vs-deteriorado. Fuente: <https://www.cleversd.com/es/blog/que-son-tan-importantes-curvas-iv>

También pueden encontrarse problemas entre las conexiones entre las cadenas de células, que van conectadas a un diodo bypass. Si una cadena se rompe, se tendrá una curva como la siguiente [18]:

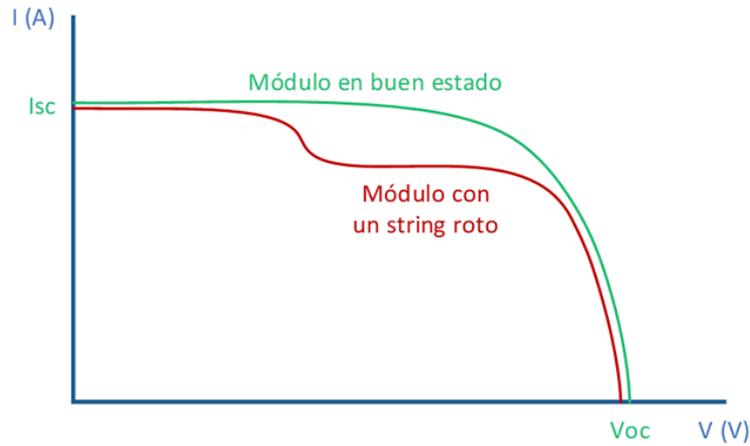


Ilustración 8: Curva I-V caso string roto. Fuente: <https://www.cleversd.com/es/blog/que-son-tan-importantes-curvas-iv>

Finalmente, también puede ayudar a encontrar problemas de oxidación en los contactos entre células. Estos se producen principalmente en paneles de baja calidad. La curva I-V asociada a un panel con esos defectos será la siguiente:

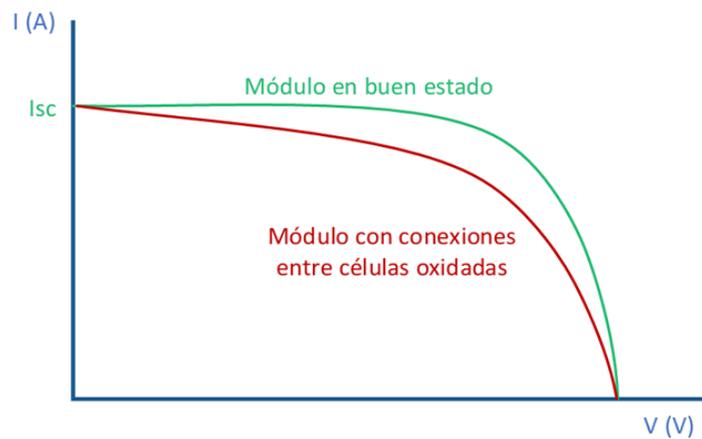


Ilustración 9: Curva I-V cuando se produce oxidación en los contactos entre células. Fuente: <https://www.cleversd.com/es/blog/que-son-tan-importantes-curvas-iv>

2.6 IRRADIANCIA Y CURVA POTENCIA- VOLTAJE (P-V)

2.6.1 Curva Potencia Voltaje (P-V)

La potencia eléctrica es igual al producto de la intensidad por el voltaje. Por lo tanto, la potencia varía en función de la gráfica I-V. La curva se representaría así:

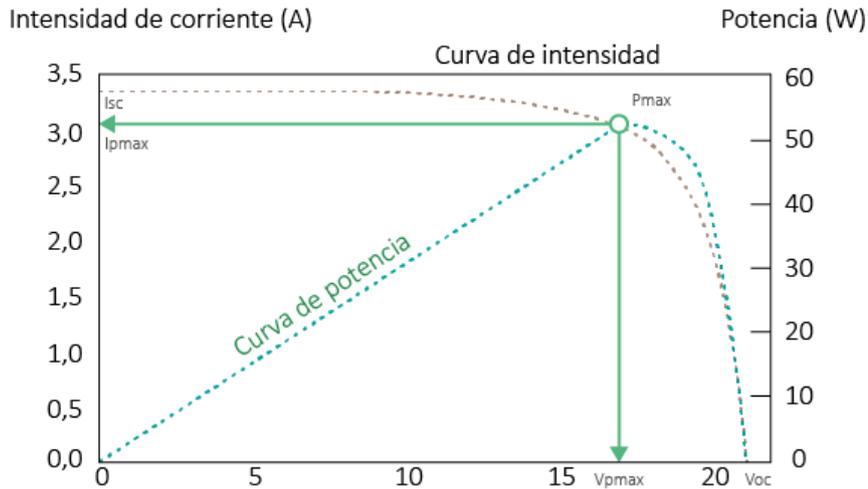


Ilustración 10: Curva Potencia- Tensión. Fuente: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>

Siendo el punto de funcionamiento óptimo, a la tensión e intensidad de corriente a la que la potencia se maximiza, como se puede ver en la siguiente ilustración:

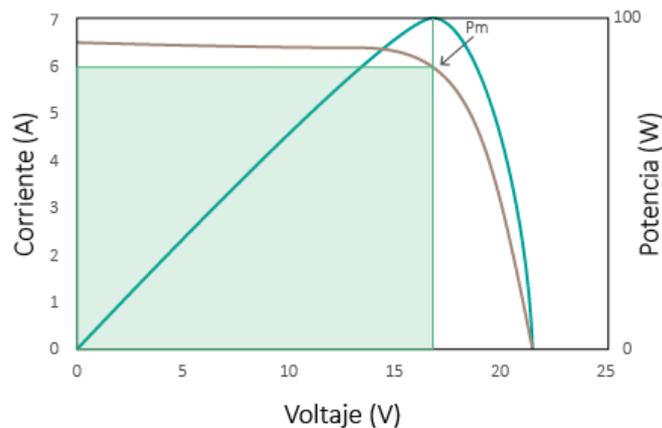


Ilustración 11: Gráfica P-V. Potencia Máxima. Fuente: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>

Por el contrario, si la tensión, o la intensidad de salida, estuviesen configuradas a valores inferiores, no se conseguiría maximizar la potencia del panel.

2.6.2 Irradiancia (Efecto de la intensidad de la iluminación)

El sol es un foco de emisor, de energía siendo la irradiancia la magnitud que nos dice cuanta energía incide sobre un área en un tiempo determinado.

Se define con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P(\text{Wattios})}{A (m^2)}$$

La irradiancia tiene una gran influencia sobre la eficiencia de la célula principalmente a las horas iniciales o finales del día.

En el siguiente gráfico se puede ver como varía la eficiencia de diferentes tipos de módulos en función de la irradiancia.

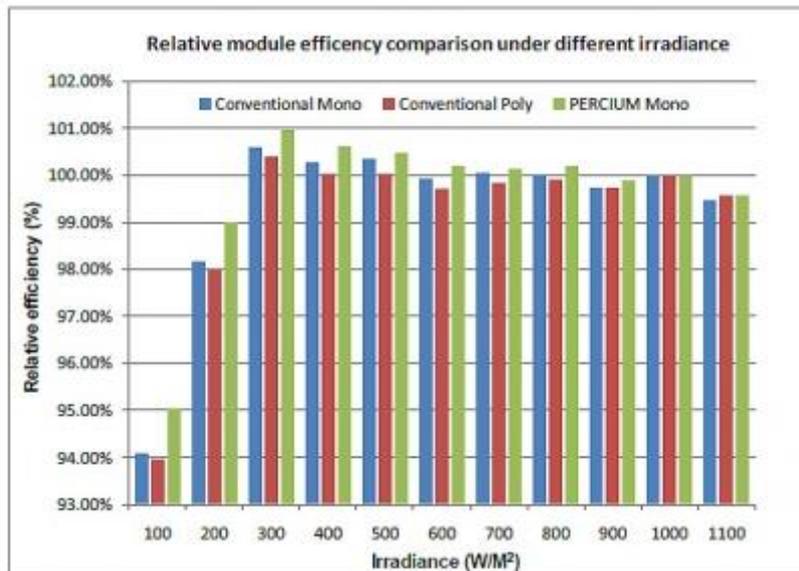


Ilustración 12: Eficiencia de los Módulos frente a diferentes Irradiancias [19]

2.6.3 Curva Potencia Voltaje en Función de la Irradiancia

Los paneles se ven sometidos a diferentes irradiancias diariamente, según la orientación que tengan respecto al sol, además la curva I-V también se ve modificada por la irradiancia. Como la Potencia es dependiente de Intensidad y Voltaje, la potencia, y la potencia pico se verán modificadas por la Irradiancia, como se puede ver en la imagen a continuación.

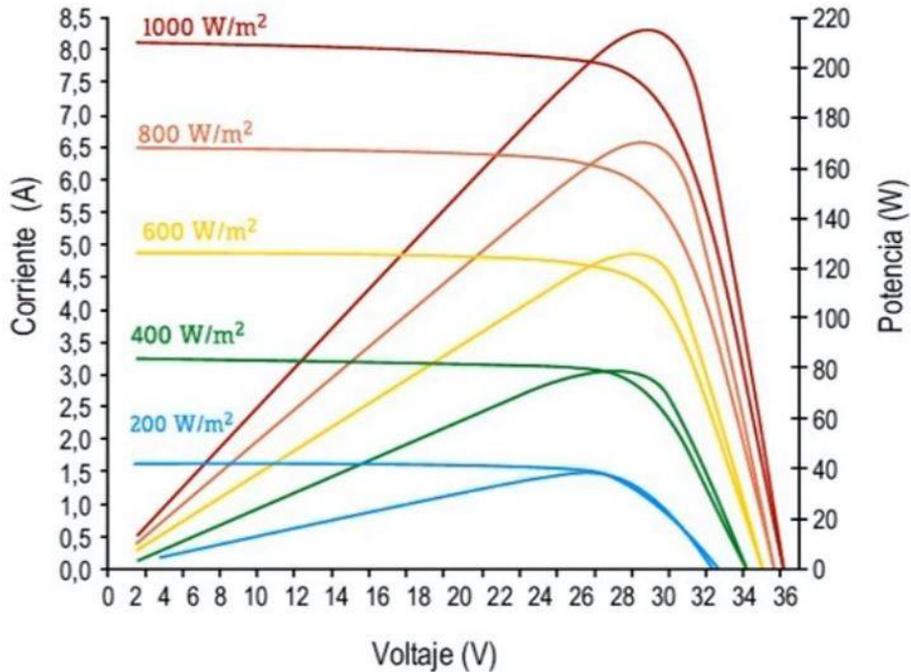


Ilustración 13: Curva de Potencia según la irradiancia. Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

La irradiancia de $1000 W/m^2$ es aproximadamente la irradiancia que recibe un panel cuando se encuentra perpendicularmente con los rayos del sol, por eso durante el amanecer y el atardecer, donde la irradiancia es mucho más baja, se produce mucha menos potencia en el panel.

3 CICLO DE VIDA DE LOS PANELES SOLARES

La energía fotovoltaica es una energía limpia, en el sentido de que, en el proceso de producción de energía, no emite gases efecto invernadero como el CO₂, sin embargo, no por ello se encuentra exenta de determinados problemas medioambientales, siendo el principal, el fin del ciclo de vida de los paneles solares.

En el marco de la Economía Circular y sus tres R (Reducir, Reutilizar, Reciclar) se va a analizar el ciclo de vida, centrándonos, principalmente, en lo que atañe a este trabajo, la reutilización y explicando en cierta manera el reciclado.

El ciclo de vida (ilustración 14) del panel solar no es muy diferente al de otro producto, y en la mayoría de las etapas del ciclo se puede aplicar alguna de las 3 R.

El primer paso es la adquisición de materiales, donde la mejora de las eficiencias que proporciona el continuo desarrollo tecnológico permite producir la misma energía con menos materiales. Además, el reciclado de los módulos permite reducir también la demanda de nuevos materiales. Estos materiales se procesan para conseguir las piezas que compondrán posteriormente el panel, que deberá ser fabricado.

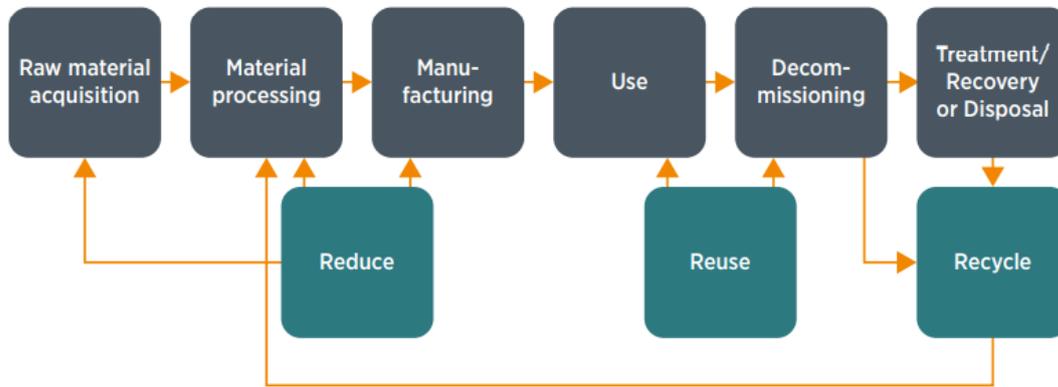


Ilustración 14: Ciclo de Vida Paneles Solares [20]

Los paneles solares tendrán muy variados usos. Estos son utilizados desde en mobiliario urbano, como señales de tráfico, hasta grandes instalaciones, que participen en el mercado eléctrico, de cientos de kW de potencia instalada, pasando por pequeños consumidores que lo instalan en su vivienda particular o empresas que buscan abaratar sus costes de producción.

La mayoría de los fabricantes suelen establecer en entre 25 y 30 años el ciclo de vida de los paneles [21], aunque estos pueden ser retirados antes de la instalación por diferentes motivos como:

- Daños físicos producidos por fenómenos climatológicos adversos, como granizo, nieve, lluvia, etc.
- Fallo en alguno de los componentes del panel

- Sustitución por paneles de una eficiencia más elevada que permitan disminuir los costes de mantenimiento, así como aumentar los ingresos por la producción de energía.

Como cabe esperar, no todos los paneles colapsan tras un fenómeno climatológico adverso, o tienen el mismo fallo interno a la vez, sufren la misma pérdida de eficiencia o aunque su eficiencia sea menor, se vuelven inservibles, sin embargo, en grandes instalaciones, se suele optar por sustituir el conjunto de los paneles o cerrar la instalación antes que comprobar el rendimiento de todos los paneles. Estos paneles además suelen acabar en manos de aseguradoras que se encargan de reponer los daños que pudiese sufrir la instalación [20]. Las aseguradoras probablemente buscarán desprenderse de esos paneles, y la reutilización se podría plantear como una buena salida.

Por el contrario, al terminar el tiempo de vida útil establecido por los fabricantes, gran parte de los paneles continúa funcionando por lo que el desechado puede ser un desperdicio.

Cuando acaba la vida útil de los paneles estos pueden ser desechados, reutilizados o reciclados.

3.1 DESECHADO DE LOS PANELES

Los paneles solares por lo general se incluyen todavía como un residuo general más, aunque en los últimos tiempos en la Unión Europea se está legislando para tratar a estos paneles solares como residuos eléctricos para prevenir los riesgos sobre la salud humana y buscar un tratamiento adecuado de los mismos.

3.1.1 Desechado en vertederos

Los módulos solares, por la presencia de metales como la plata o el plomo pueden provocar daños en el suelo si no son manejados correctamente, sin embargo, la literatura sobre daños causados por vertidos de paneles solares es prácticamente inexistente, sin embargo, en relación con una disponibilidad en el futuro de los metales (no olvidar que para 2050 se habrán acumulado 78 millones de toneladas de paneles desechados [21]), se debería tratar de darle un enfoque proactivo, que ayude a reciclar esos metales para evitar una escasez futura. [22]

Por otro lado, muchos componentes auxiliares de los paneles fotovoltaicos, como inversores, cables, fusibles y otros componentes eléctricos, se suelen olvidar a veces, en los estudios, pero pueden llegar a contaminar mucho suelos y aguas.

3.1.2 Incineración

La incineración de módulos solares, como de desechos electrónicos en general, se considera bastante perjudicial para el medio ambiente debido a que se liberan a la atmósfera metales pesados tóxicos, como el plomo. Alguno de los materiales que forman los paneles solares son persistentes y acumulativos cuando se liberan, lo que significa efectos a largo plazo para los seres humanos, la fauna y la flora. [22]

La principal ventaja es que los paneles no necesitan separarse de otros residuos comerciales o industriales, aunque se eliminan las posibilidades de recuperación de materias primas.

3.2 REUTILIZACIÓN DE PANELES

Muchos de los módulos que se retiran de las instalaciones fotovoltaicas, siguen funcionando, aunque normalmente a aproximadamente un 70% de la eficiencia inicial. [2]

Los principales pasos que se debería seguir a la hora de reutilizar un módulo son [22]:

- 1) Limpieza de los módulos. La presencia de estos en lugares al aire libre propicia el asentamiento de partículas como el polvo u otros sedimentos, que dificultan la llegada de luz a los paneles.
- 2) Inspección visual. Se comprobará que las células no hayan sufrido daños o que el cristal protector no haya sufrido ningún impacto.
- 3) Test de eficiencia. Una prueba de eficiencia en laboratorio certificaría el correcto funcionamiento de los módulos

También puede suceder que los módulos presenten algunos defectos de fácil solución como son la reparación del marco de aluminio, la sustitución de la caja de conexiones o el reemplazo de diodos o enchufes.

3.2.1 Ejemplos reutilización

El sector de los paneles solares usados se encuentra aún en una fase de nacimiento, aunque ya es posible encontrar algunas iniciativas para la venta de estos paneles usados.

La web www.secondsol.com está especializada en poner en contacto a vendedores y compradores, de materiales de segunda mano relacionados con la energía fotovoltaica, entre ellos paneles, estos tienden a tener un precio cercano al 70% del precio en mercado, presentan buenas eficiencias y son vendidos en lotes.

Por otra parte, en la web www.pvxchange.com también se pueden encontrar paneles solares usados vendidos en lotes, así como otros materiales auxiliares utilizados en las instalaciones fotovoltaicas.

3.3 RECICLADO PANELES

La última etapa del ciclo de vida del panel debe ser el reciclado. La reutilización es una manera eficaz de reducir la demanda de nuevos paneles, así como de alargar la vida útil de los ya existentes. Además, el reciclado reduce la demanda y extracción de nuevos materiales completando el “circulo” económico”.

Hasta el año 2010 la mayoría de los estudios sobre el reciclaje se basaban en los paneles de película delgada, principalmente Teluro de Cadmio (CdTe) por su gran poder contaminante y por la gran rentabilidad que poseían esos materiales raros, sin embargo, dado que el 95% del mercado está formado por paneles de Silicio, y que tanto los monocristalinos como los policristalinos se reciclan igual, nos centraremos en estos paneles. [23]

3.3.1 Actores en el Reciclaje

La Unión Europea es prácticamente la única reguladora a nivel mundial sobre el reciclaje de paneles solares. En su directiva de sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE 2012/19/UE, obliga a los productores de este tipo de aparatos a participar después en el reciclaje de los productos. Por ello, los módulos deben tener una tasa de recolección del 85% y una de reciclaje del 80%. [23]

La organización belga PV Cycle, fundada en 2007, es una asociación sin ánimo de lucro dedicada a ofrecer soluciones de gestión de residuos a nivel global. Esta asociación firmando un acuerdo de colaboración con Recyclia en 2013 para la recogida, tratamiento y gestión de los residuos de materiales fotovoltaicos. [24]

3.3.2 Elemento reciclable

El panel solar es en gran medida reciclable. Sus principales componentes son el vidrio (75%) y el aluminio (9%) que son fácilmente reciclables. Otros materiales metálicos como el silicio (3%), el cobre (1%) o la plata (0,16%) también pueden ser extraídos y reaprovechados.

3.3.3 Posible beneficio económico reciclado

El reciclado de los módulos solares puede enfocarse principalmente en dos direcciones. Una que consistiría separar los diferentes materiales que forman el módulo y transformarlos en materia prima de nuevo, según los distintos procedimientos que correspondan a los diferentes materiales.

Materiales como el Vidrio, Aluminio, la Plata o el cobre podrían ser transformados de nuevo al 100% y vendidos como materia prima, otros como el silicio debido al desgaste sufrido durante el funcionamiento podrían ser transformados únicamente en un 90%.

En la tabla a continuación, extraída del artículo: “Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling” de *Meng Tao et al* [21], se muestran los diferentes materiales que forman el panel solar, junto con otros datos como el peso, y sobre

Capítulo 3: Ciclo de Vida de los Paneles Solares

todo, el valor total que se podría extraer por cada módulo reciclado en relación al valor de los materiales.

Material	% Recuperable	Peso (kg)	Precio (\$/kg)	Valor(\$/modulo)	% Total
Vidrio	100	13,5	0,10	1,35	12,7
Aluminio	100	1,83	0,95	1,74	16,4
Polímeros	0	1,18		0	0
Silicio	90	0,56	5,52	3,09	29,1
Plata	100	0,0065	574,23	3,73	35,2
Cobre	100	0,11	5	0,55	5,2
Plomo	100	0,0183	1,1	0,02	0,2
Estaño	100	0,0219	6,06	0,13	1,2
Total				10,61\$	100

Tabla 1: Beneficio Potencial Extracción Materiales [21]

El posible beneficio extrayendo los diferentes materiales y comercializándolo de nuevo sería de unos 10 dólares.

La otra opción posible a la hora de reciclar el panel sería separar los diferentes componentes que componen el módulo y venderlos para su posterior uso en otros paneles. Los siguientes precios, extraídos de nuevo del artículo “Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling”, donde se observa el precio al que podría ser vendida cada parte extraída del módulo.

Componente	% Recuperable	Precio Unitario	Cantidad	Valor(\$/modulo)	% Total
Panel de Vidrio	100	\$4,05/m2	1,6 m2	3,25	17,9
Marco Aluminio	100	\$0,95/kg	1,83 kg	1,74	9,6
Células BFS de aluminio	100	\$0,42/célula	60 células	12,60	69,4
Cinta de cobre	100	\$5/kg	0,11kg	0,55	3
Total				18,14\$	100

Tabla 2: Beneficio Potencial de la Extracción de Componentes [21]

Vendiendo los diferentes componentes en el mercado, se estimaría un beneficio potencia del uno 18\$, sin embargo, estos valores son suponiendo que no existen

Capítulo 3: Ciclo de Vida de los Paneles Solares

defectos, como impactos en el panel y que las células siguen funcionando correctamente. En estos casos, se debería proceder al supuesto de separar los diferentes materiales y tratarlos.

4 ESTADO DEL MERCADO

En los últimos tiempos, debido a la búsqueda de un cambio en el modelo energético por parte de estados, empresas, consumidores debido al cambio climático y el agotamiento de los combustibles fósiles, las energías renovables y en concreto, la energía solar fotovoltaica ha mantenido unas tasas de demanda muy elevadas, que han propiciado un gran desarrollo tecnológico, desembocando en mejores eficiencias y precios más bajos [25]. Este boom, a la larga puede tener varios efectos perjudiciales debido a que las diferentes tecnologías, entre las que encontramos a los paneles solares, tienen vidas útiles finitas, y los materiales deberán ser desechados o reciclados al final de esta. También un incremento de la demanda podría provocar problemas de abastecimiento o un rápido agotamiento de los materiales necesarios para producir estas tecnologías, lo cual puede ser compensado en cierta manera gracias a la reutilización.

4.1 LAS RENOVABLES EN EL MUNDO, EVOLUCIÓN ACTUAL E HISTÓRICA DEL MERCADO

4.1.1.1 Potencia Instalada

La potencia instalada de energías renovables crece anualmente a nivel mundial, pero no todas las tecnologías crecen de la misma manera, como se puede ver en la Ilustración 15. Mientras que la energía hidroeléctrica (en azul oscuro) ha llegado a una etapa de cierta madurez, debido principalmente a la falta de aguas para construir nuevas centrales hidroeléctricas, otras tecnologías como la energía eólica (en morado claro) o la energía solar fotovoltaica (amarillo) aumentan en miles de MW su capacidad instalada, llegando la fotovoltaica incluso a duplicar su capacidad instalada cada 2-3 años.

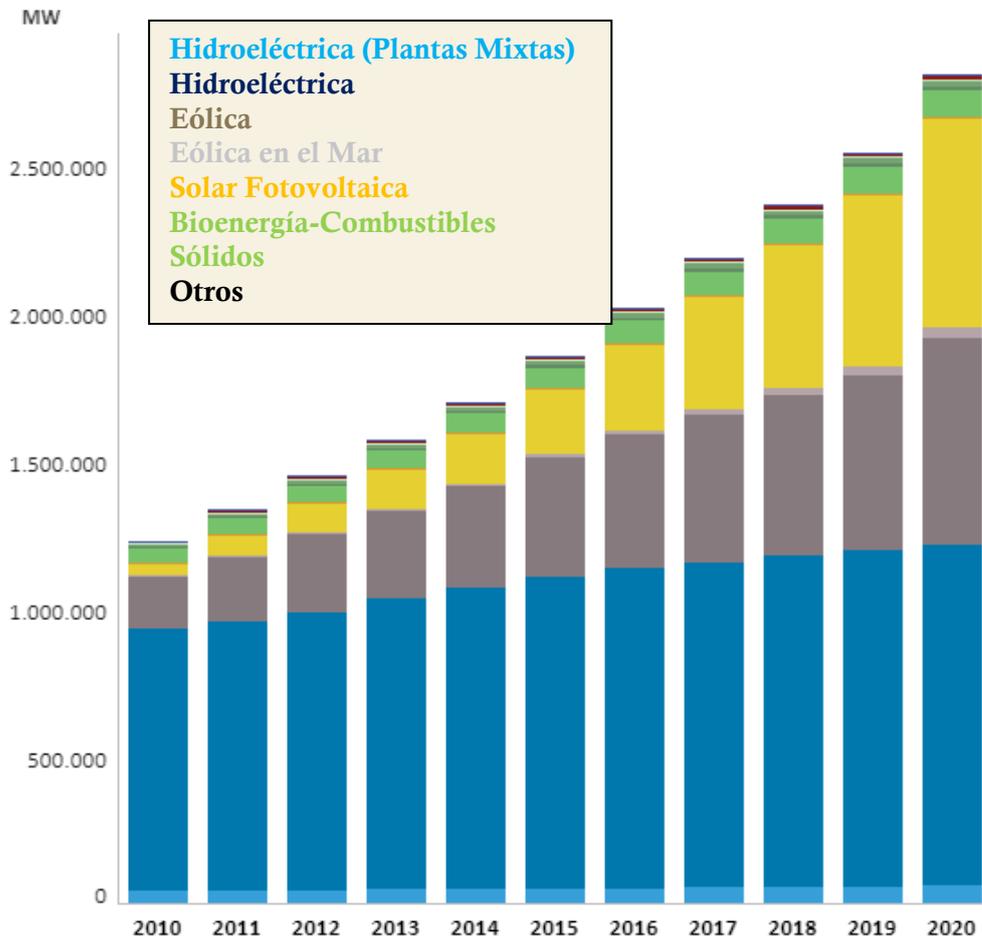


Ilustración 15: Tendencias de las Energías Renovables. Fuente: <https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs>

El consumo de energía renovable se encuentra en un incesante aumento, aunque, como se puede ver en la siguiente se destaca principalmente en 3 zonas del mundo, Asia-Pacífico, Europa y Norteamérica, básicamente las regiones más desarrolladas económicamente. El consumo por energías renovables ronda los 10 exajulios (10^{18}), tanto en la región Asia-Pacífico, principalmente por el gran crecimiento económico chino [26], como en Europa por la apuesta de la Unión Europea por realizar un cambio rápido a un modelo económico más limpio.

Por otro lado, regiones como África, Oriente Medio o la Comunidad de Estados Independientes (Rusia y Asia y Central), apenas han desarrollado aún cierta capacidad renovable.

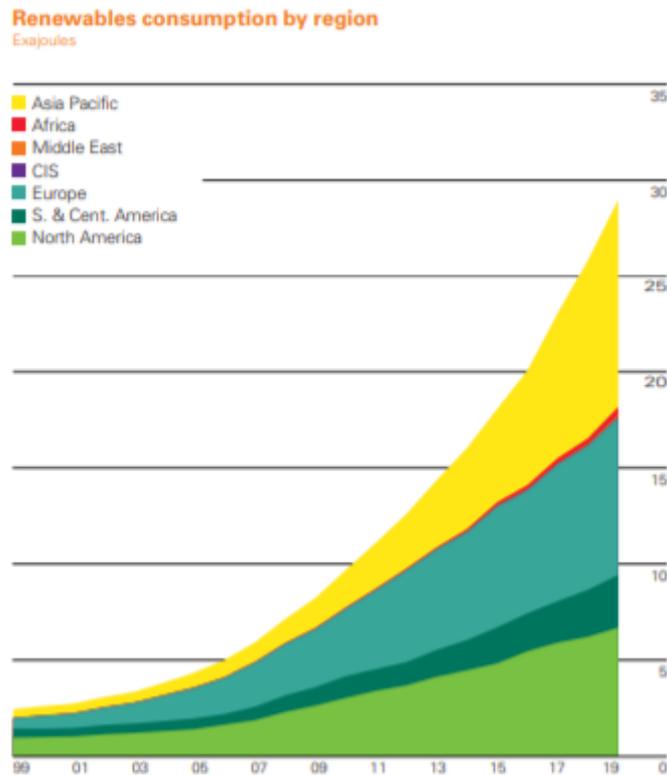


Ilustración 16: Consumo de Renovables por macroregiones. Fuente:

<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

4.1.2 Precios

El precio de producir energía mediante módulos fotovoltaicos se ha ido reduciendo paulatinamente en los últimos tiempos. Mientras que en 2009 el precio de producir un kWh se encontraba en el mejor de los casos, ligeramente por encima de los 0,2 dólares, en 2019 este ya estaba por debajo de los 0,1 dólares, habiéndose reducido a la mitad estos costes, como se puede observar en la ilustración 17.

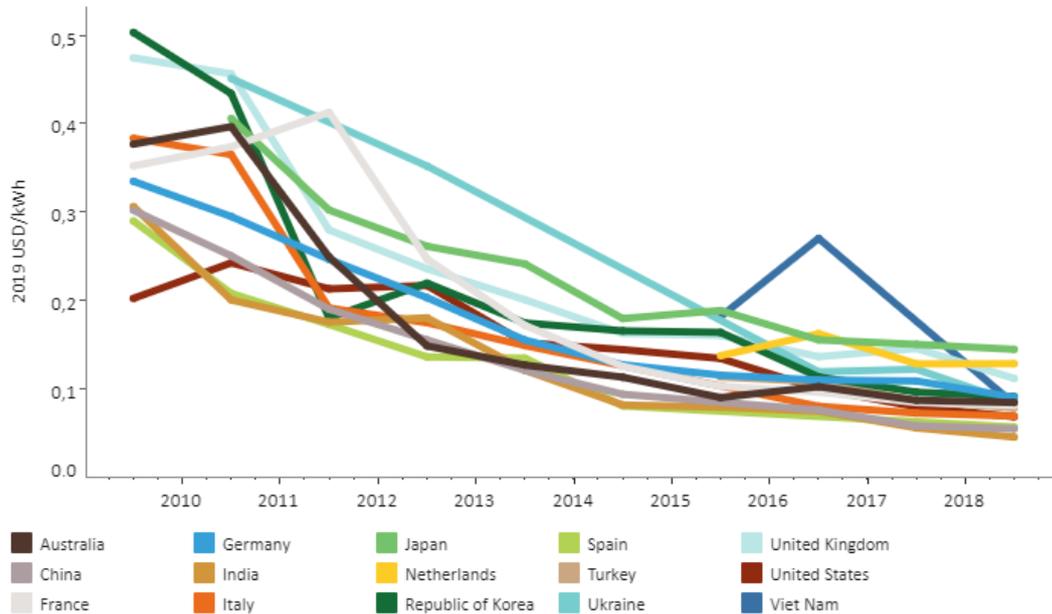


Ilustración 17: Evolución del Precio de Producir Energía Fotovoltaica. Fuente: <https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Solar-Costs>

En España en concreto se ha reducido el coste de producir 1 kWh en más de un 66% en los últimos diez años

4.2 EVOLUCIÓN ACTUAL E HISTÓRICA DEL MERCADO EN ESPAÑA

La potencia fotovoltaica instalada en la Unión Europea sigue ciclos bastante irregulares, y va fluctuando en función de los distintos países. En el caso de España, en los años 2007-2008 se produjo, una importante apuesta por la fotovoltaica con una instalación masiva de capacidad, que, sin embargo, tras ese boom, el crecimiento de la potencia instalada ha sido bastante tenue hasta de nuevo el año 2019.

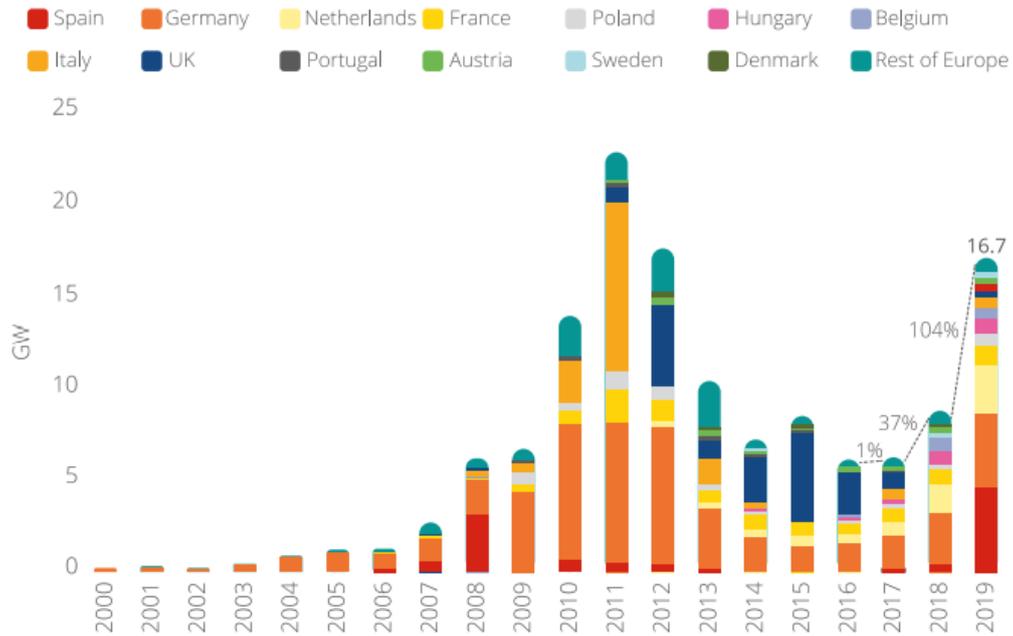


Ilustración 18: Capacidad Fotovoltaica Instalada en la UE por países. Fuente: <https://unef.es/descargas/>

Como se puede comprobar en la Ilustración 18, En España la energía solar ha ido aumentando su generación horaria hasta alcanzar en el año 2019 los 9223 GW/h de potencia generada,

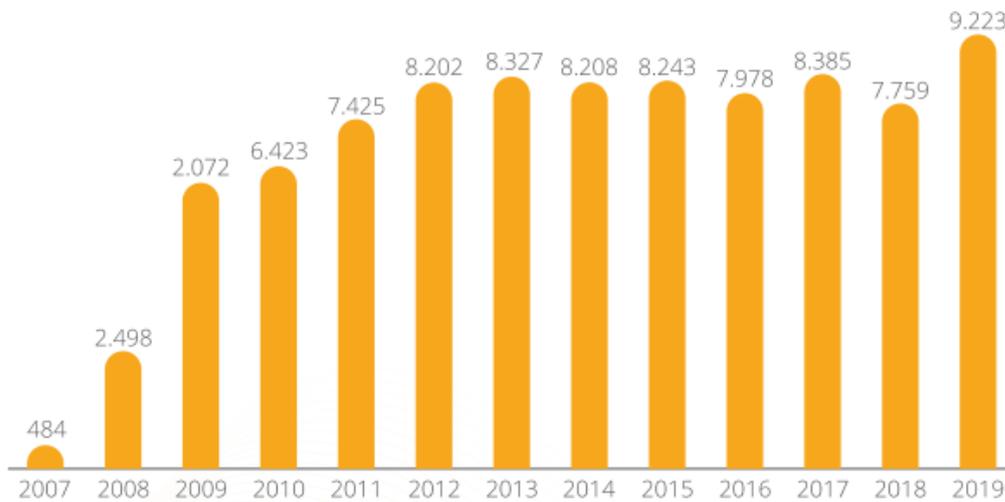


Ilustración 19: Generación Solar Anual en España en GW/h. Fuente: <https://unef.es/descargas/>

siendo Andalucía y Castilla-La Mancha las principales productoras de España, aunque teniendo Extremadura y la Región de Murcia con muy altas tasas de producción eléctrica mediante tecnología fotovoltaica para la superficie de la que

disponen. Castilla y León, debido a su gran superficie y escasa densidad poblacional, tiene un elevado potencial fotovoltaico, aunque aún se encuentra lejos de otras Comunidades como podemos observar en el mapa a continuación.

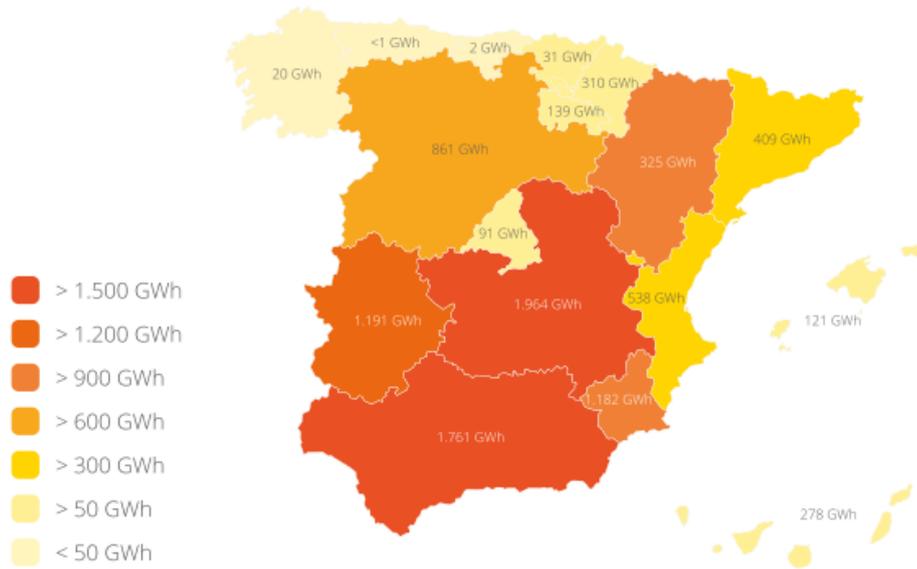


Ilustración 20: Generación por Comunidades. Fuente: <https://unef.es/descargas/>

5 EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

5.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico es el conjunto de actividades, algunas parcialmente liberalizadas como las de generación y comercialización y otras reguladas como son el transporte y la distribución, gracias a las cuales los usuarios tienen un suministro estable y fiable de electricidad. Estos procesos son todos indispensables para el sistema, y en España suponen un volumen anual de 32.000 millones de euros [27], de los cuales 13.000 se corresponden al mercado eléctrico. Con la liberalización estas tareas ya no las podía hacer la misma empresa, si no que debían ser empresas distintas para mejorar la eficiencia, aunque en la práctica acaba convirtiéndose en una separación contable y jurídica de las actividades.

- **Generación:** Consiste en la producción de energía eléctrica. Algunas de las principales tecnologías para la producción energética son las Centrales Hidráulicas, las Centrales Nucleares, las Centrales Térmicas (convencionales o de ciclo combinado), los sistemas de cogeneración y renovables como la energía solar fotovoltaica o la energía eólica. [28]
- **Transporte:** El transporte eléctrico permite mover la energía producida en las centrales hasta las zonas de consumo. Es gestionado por la Red Eléctrica Española que se encarga de la continuidad y la seguridad de las líneas de alta tensión, que suministran a las líneas de baja tensión (distribuidoras), así como del mantenimiento de las subestaciones eléctricas. [29]
- **Distribución:** las propietarias de las infraestructuras son las empresas distribuidoras, que, además, son responsables de asegurar la calidad del servicio al usuario. En caso de avería o problemas de suministro, responden ante el consumidor aun cuando no existe contrato entre ellos. Las distribuidoras son también las encargadas de la lectura del contador del cliente, así como de comunicar esta lectura a las comercializadoras. [30]
- **Comercialización:** La función de las empresas comercializadoras es la de comprar la electricidad a las distribuidoras y vendérsela a los clientes finales. Son, por tanto, las empresas con las que el consumidor firma el contrato de suministro. [28]

5.2 EL MERCADO ELÉCTRICO

El término mercado eléctrico se utilizará para referirse a las actividades parcialmente liberalizadas [31]. Este mercado eléctrico a su vez le podemos dividir en dos:

- **Mercado minorista:** el cuál se refiere más detalladamente a la propia comercialización de la electricidad hacia los clientes finales.
- **Mercado mayorista de la electricidad:** también llamado *pool* eléctrico y el cuál veremos en detalle a continuación.

5.2.1 El mercado minorista

En él se produce el proceso de Comercialización, en la cual se entrega la energía a unos clientes finales a cambio de una contraprestación económica. [32] Este proceso es realizado por múltiples empresas en régimen de libre competencia, en el cuál, los clientes eligen que empresa les venderá la electricidad a un precio mutuamente pactado.

La tarea de las Comercializadoras consistirá en hacer una previsión del consumo de los clientes, y planificar la compra de energía en el mercado mayorista, que tras el pago de unos peajes de acceso para el transporte y distribución llegará a los clientes finales.

Las principales actividades de las comercializadoras son [32]:

- Oferta: Dentro de este mercado los clientes se podrán acoger a los precios del mercado regulado (PVPC) o a los del mercado libre, siendo este último donde las comercializadoras tratarán de captar a los clientes, ofertando un amplio abanico de tarifas que se desarrollarán en el apartado 8.1
- Facturación: En base a la lectura mensual o bimensual del equipo de medida, aunque de esto último se encarga la distribuidora.
- Atención Postventa: Obliga a la comercializadora a notificar debidamente a los consumidores de cualquier cambio en los términos de la factura.
- Etiquetado de la Electricidad: Establece a la comercializadora informar al cliente sobre el origen de la electricidad que este consume y de la proporción del origen de esta.

5.2.2 El mercado mayorista

Una de las claves del sistema eléctrico español, es que la electricidad no puede ser almacenada por el momento en grandes cantidades por ello, se requiere de una previsión de la demanda, para la generación, transporte y distribución de esta. Por ello existe un mercado regulado que pone en contacto a generadores con comercializadores de energía eléctrica. A este mercado se le conoce como “Pool Eléctrico”, y en la península ibérica (España + Portugal) es gestionado por el operador de mercado ibérico, OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía), que se encarga de los mercados diarios e intradiarios.

El proceso para el cálculo del precio de la electricidad es el siguiente [33] [30]:

1. El pool de electricidad gestionado por OMIE cuenta con diferentes sesiones. Una sesión diaria, donde se negocia la mayor parte de la energía y después 6 sesiones intradiarias y un intradiario continuo, donde se hacen diferentes ajustes en función de variaciones de la demanda u oferta.
2. REE (Red Eléctrica de España), mediante diversos algoritmos y datos sobre consumo acumulados, hace una estimación de la demanda que va a haber en España, para todas las horas del día. Aunque la demanda es imposible de conocer con certeza, las previsiones de REE suelen ser bastante exactas.

Además, también calcula el estado de las interconexiones en la red eléctrica (no se debe sobrepasar la tensión máxima de ningún punto de la red, si no se podría provocar la caída de esta), la disponibilidad de los generadores y la previsión de generación mediante renovables. [33]

3. Los diferentes generadores (nucleares, renovables, centrales térmicas, centrales de ciclo combinado), presentan, según sus estimaciones capacidad de producción y sus costes, ofertas de venta para cada hora del día siguiente. (mercado diario)
4. Las comercializadoras, también presentan sus ofertas de compra, en función de la demanda que estimen, para cada una de las horas del día siguiente (mercado diario).
5. El Operador de Mercado (OMIE), ordena de menor a mayor el precio de la oferta y de menor a mayor la demanda, y se encuentra un precio de equilibrio.
6. Posteriormente, se utilizan los mercados intradiarios para realizar correcciones gracias a datos más precisos de posibilidad de generación y demanda, que pueden ir modificando ligeramente el precio. Por ejemplo, si un productor eólico tuviese una avería o la previsión del tiempo fallase y disminuyese la capacidad de generación, esto se corregiría en una sesión intradiaria, donde se volvería a subastar esa energía y el precio se vería modificado.
7. Modelo Marginalista: El hecho de que el precio se calcule cruzando las curvas de oferta y demanda hace que el precio de la electricidad sea el mismo para todos los participantes del mercado. A esto se le conoce como Modelo Marginalista de precios.

5.3 COMPOSICIÓN DE LA FACTURA

El precio final de la electricidad, no se corresponde íntegramente con los resultados del mercado mayorista, sino que, al ser un sector ampliamente regulado, este precio está formado únicamente en un 35% por el precio del mercado mayorista, y el resto por diferentes partidas algunos, costes regulados por el gobierno y otras son impuestos. [33]

5.3.1 Costes regulados [34]

- Retribución a la actividad de Transporte y de Distribución: Estos costes se dedican a la construcción, operación y mantenimiento de las redes de transporte y distribución. Red Eléctrica recibe los costes de transporte, mientras que las distribuidoras los de distribución.
- Incentivos a las renovables: Conocidas como primas a las renovables, con el fin de favorecer las energías limpias.
- Pagos por Capacidad: Es un plus que se paga a las centrales de energía de respaldo (aquellas más caras y que apenas entran en mercado como las térmicas) para que cuando sea necesaria su entrada, estén disponibles y no haya cortes de suministro en la red eléctrica. [34]

- Tasa CNMC: Es una partida que sirve para financiar al Operador de Mercado
- Compensación sistemas no peninsulares: Con el objetivo de que tanto en las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, como en los archipiélagos de Canarias y Baleares se disponga de un suministro estable y al mismo precio que en la península, se aplica esta tasa para cubrir los costes del transporte de la energía a estos lugares.

5.3.2 Coste de energía

- Coste al que las comercializadoras compran la energía al precio que se marca horariamente en el Operador de Mercado Ibérico.

5.3.3 Impuestos

Son principalmente tres impuestos que se explicarán más adelante:

- Tasa Municipal.
- Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)
- Impuesto Eléctrico

5.4 EVOLUCIÓN FUTURA PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD

El precio de la electricidad va a ser un factor de gran importancia a la hora de colocar una instalación fotovoltaica. Con el módulo solar, el objetivo de usuario ya sea un particular o una empresa será reducir sus costes energéticos de una manera ecológica e independiente, así como cubrirse ante posibles grandes fluctuaciones de precios en el mercado eléctrico.

Por esto, el precio de la luz va a ser elemento significativo a la hora de entender si una instalación va a ser rentable. Si los precios de la luz tuviesen proyecciones de decrecer notablemente, quizá al usuario pueda serle contraproducente invertir en el largo plazo en paneles cuando le puede ser más caro que seguir conectado a la red. En cambio, con previsiones de precios altos, es más fácil que un usuario opte por autoabastecerse.

A la hora de predecir una evolución de precios, el mercado eléctrico es un modelo estocástico, ya que depende de múltiples factores azarosos, como la tecnología que vaya surgiendo y se vaya instalando, el grado de evolución de esta, la climatología, cuestiones políticas y regulatorias, etc. Por ello resulta prácticamente imposible entender con exactitud como van a evolucionar los precios los precios en el futuro, aunque podemos intentar vaticinar si fluctuará en exceso.

Por un lado, utilizando el informe de FACUA [35] sobre la evolución de las tarifas eléctricas entre 1993 y 2013:

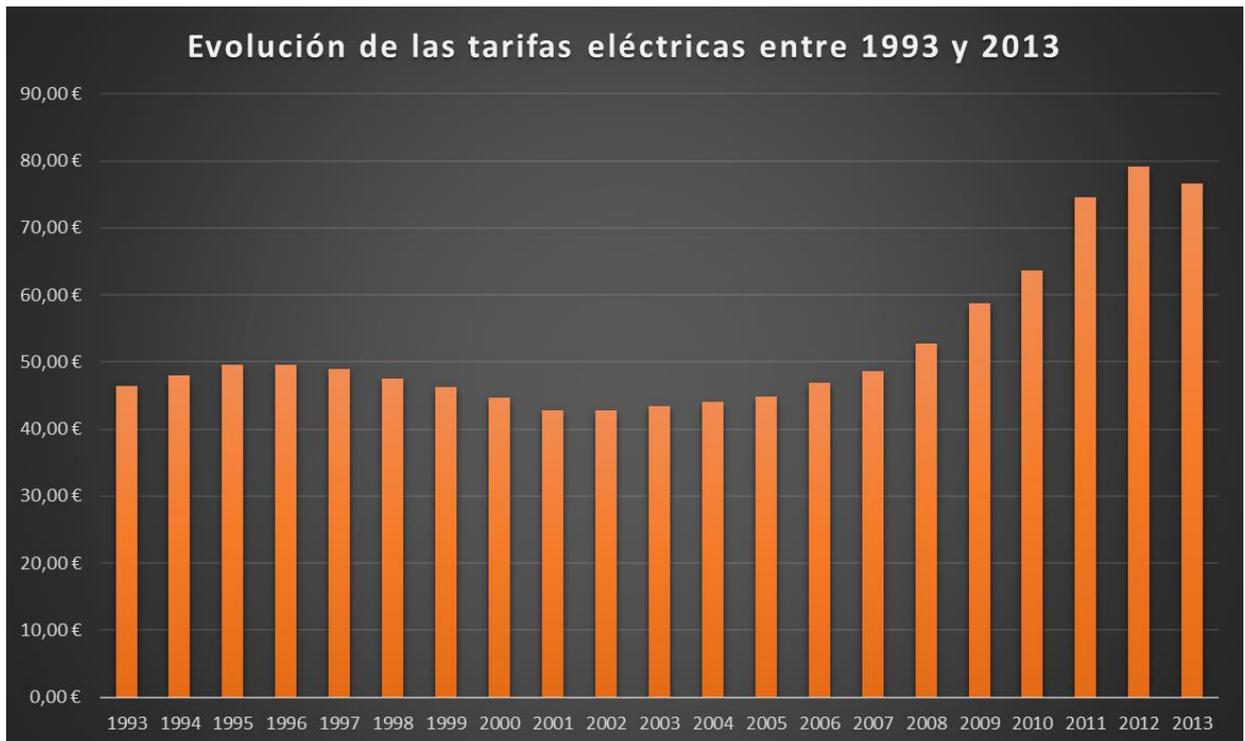


Ilustración 21: Gráfico precios mensuales de la factura para el usuario medio entre 1993 y 2013 [35]

Fuente: <https://www.facua.org/es/documentos/evoluciontarifaselectricas1993-2013.pdf>

Vemos en la ilustración 21, que el precio de la factura para el usuario medio pese a tener cierta estabilidad, a partir de 2007 creció de manera exponencial, por lo que podemos suponer el mercado eléctrico como un mercado estable, pero que cuando se produce un cambio tecnológico puede sufrir grandes fluctuaciones en el precio.

El precio del MW/h también sufre alteraciones marcadas por los diferentes componentes de azar que influyen en la factura. Esto se puede ver en la siguiente infografía obtenida de la web especializada Statista:

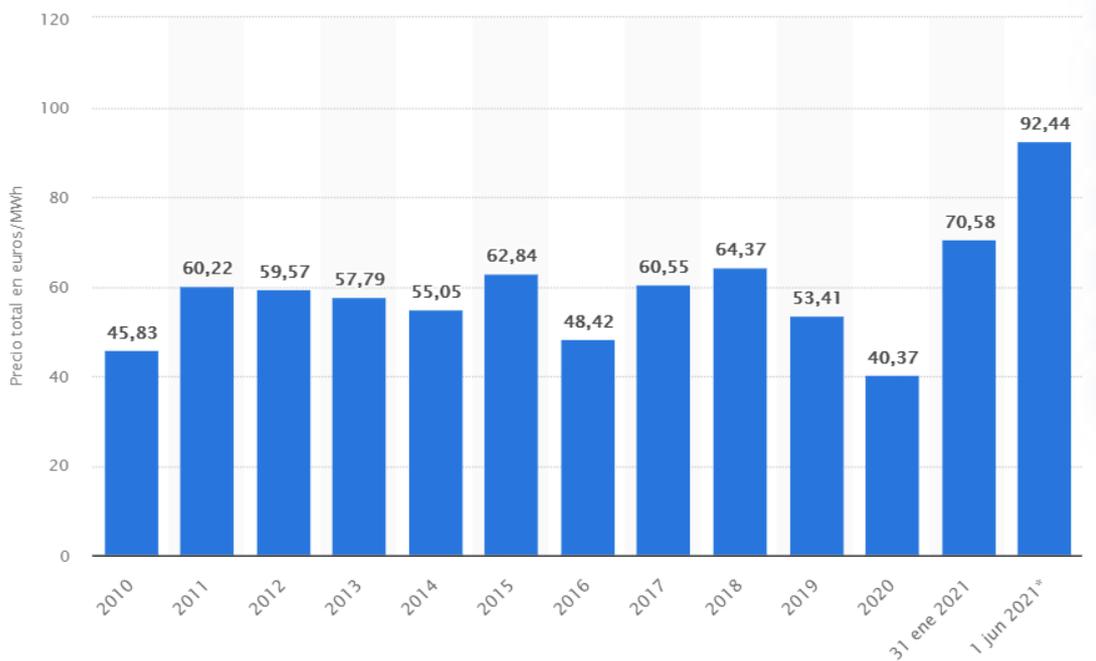


Ilustración 22: Evolución precio MW/h .

Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/993787/precio-medio-final-de-la-electricidad-en-espana/>

Donde vemos que el precio medio del MW/h en el mercado mayorista es bastante fluctuante y no sigue una tendencia que ayude a predecir el precio en los años venideros.

La consultora Deloitte estima que para el año 2030, en España se podría reducir un 35% el precio medio de la electricidad [36], debido a la transformación energética, el impulso de las renovables y el abandono de las energías fósiles, sin embargo, para ello se deben cumplir los objetivos de reducción de CO₂ , así como una transición inteligente del modelo energético, y un aumento de la demanda gracias a una electrificación de todos los sectores que utilicen energías fósiles. Esta transición energética también incluiría la rehabilitación de viviendas para la mejora de la eficiencia o la transición a un modelo automovilístico eléctrico.

Por otro lado avisan Moncho Veloso y María Cuesta, a través del diario ABC [37], de que los planes de ir cerrando las centrales nucleares de manera progresiva, pueden encarecer aún más la factura de los hogares españoles, ya que los horarios con precios máximos se producen en momentos de baja capacidad eólica y solar (falta de viento y ausencia de sol), donde para mantener el suministro eléctrico se necesita acudir a fuentes de energía más caras como el carbón o el gas. Una fuente de energía barata, que además funciona 24h, los 365 días del año como es la nuclear, permite garantizar una base fiable a los clientes, así como una base energética más barata que impide la entrada de otras fuentes más costosas como el gas. Además, el aumento del coste de los derechos de emisión de CO₂, hacen que cuando el sistema

necesita la entrada de energía generada mediante combustibles fósiles, esta energía sea mucho más cara, y esta tendencia se puede ir prolongando en los próximos años.

También, en respuesta a un informe de Goldman Sachs que declaraba que la factura de la luz en España se podría reducir en torno a un 40% en los próximos años [38], la empresa especializada en previsión de los precios de la electricidad AleaSoft, consideraba que esas previsiones de Goldman Sachs, no eran realistas y que no se iban a poder mantener en el tiempo, comentando incluso que la situación actual muestra que los precios podrían aumentar aún más con el tiempo, aunque admiten que la entrada masiva de renovables reduciría sensiblemente el precio.

AleaSoft también reporta, como unos precios muy bajos de la energía no serían realistas ni sostenibles, ya que desincentivan la generación, y las renovables tenderían a subir el suelo de sus ofertas.

En 2021 debido al encarecimiento del gas natural y el aumento de los derechos de emisión de CO₂ [39], la electricidad está alcanzando precios históricos. Se espera que los precios suban en 2022 un 50% respecto a junio de 2021. [39]

La tendencia se repite en todos los países europeos y en el próximo año, el precio de la luz se mantendrá igual de alto, o incluso crecerá aún más. [40] , estimándose un precio de 119€/MWh para el primer trimestre del año próximo.

Finalmente, Endesa prevé que los precios de la electricidad se mantengan altos, y en el año 2023 año comiencen a descender. [41]

5.4.1 Conclusión

Debido a que diferentes fuentes, difieren ampliamente en el cómo se van a comportar los precios de la electricidad en los próximos años, ya que el comportamiento histórico parece tender a una subida del precio, aunque el incremento de la producción mediante renovables parece poder invertir esta tendencia.

Por otra parte, la coyuntura de precios esperada para los años 2021, 2022 y 2023, al ser un análisis en el largo plazo, una bajada de precios en el largo plazo, por la mejorar de las eficiencias de las energías renovables, provocarían una compensación en el análisis de la rentabilidad 20-25 años.

Por ello, se supondrá que el precio de la electricidad se mantendrá constante en los próximos años, aunque se recomendará introducir, si se tuviesen, datos de los precios de la tarifa del año 2019

6 EXPLICACIÓN DEL CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD

Se explicarán en este capítulo los diferentes conceptos que se aplican a la hora de realizar el cálculo de la rentabilidad de instalar paneles usados.

6.1 CONCEPTOS ECONÓMICOS

- **Flujos de Caja:**

Los flujos de caja son todos los movimientos de dinero, ya sean pagos o cobros que se producen en una empresa en el ejercicio de su actividad económica. [42]

Estos flujos de caja son, por ejemplo: la inversión inicial, cobro/pago de facturas, pago de alquileres, etc.

- **VAN (Valor Actual Neto):**

Es un método que sirve para valorar inversiones. La clave de las inversiones es entender cómo se relaciona el sacrificio monetario que se realiza en el momento de la inversión con las esperanzas de ingresos futuras. Para esto se deben analizar los flujos de caja, pero teniendo en cuenta la pérdida de valor del dinero.

El VAN se basa en el cálculo del valor actual descontado de todos los flujos de caja que se esperan que se produzcan en el proyecto, es decir el proyecto será económicamente viable si la suma del valor actualizado de todos los flujos de caja del proyecto es positiva. [43]

La fórmula que utilizaríamos será:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i}$$

Siendo:

- FC: Los flujos de caja
- $(1+r)^i$: Factor de actualización o descuento (factor por el que hay que multiplicar al capital futuro para conocer su equivalencia el día de hoy)
- r: La tasa libre de riesgo
- i: Año de ejecución del proyecto

- **TIR (Tasa Interna de Retorno):**

Es una media de la rentabilidad del proyecto. [42]

Se calcula como la tasa (r) a la que habría que actualizar los flujos de caja generados por el proyecto para que su valor actual fuese nulo [43]:

Esto se consigue igualando el VAN a 0, y obteniendo la r:

$$0 = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i}$$

Capítulo 6: Explicación del Cálculo de la Rentabilidad

- $TIR > r$, el proyecto es viable económicamente
- $TIR < r$, el proyecto no es viable económicamente

Siendo esta r , la tasa libre de riesgo.

- **Tasa Libre de Riesgo:**

La tasa libre de riesgo nos indica la rentabilidad esperada al invertir en activos que estén considerados como “libres” de riesgo.

Se entrecorilla libres, porque ninguna inversión está exenta de riesgo, sin embargo, algunos activos que no cambien su rentabilidad durante su ciclo de vida acostumbren a tener una mínima fluctuación de mercado, y que sean emitidos por emisores de reconocida solvencia, se podrían considerar activos libres de riesgo. [44]

Normalmente se suelen utilizar como ejemplo de activos libres de riesgo los Bonos del Estado, ya que los estados suelen tener el suficiente margen de maniobra para no tener que incumplir sus pagos.

En Europa, se suelen utilizar los Bonos que emite el estado alemán como activos libres de riesgo, ya que, debido a la seguridad y solvencia de la economía alemana, la probabilidad de impagos es muy remota.

Debido a la seguridad que depositan los inversores en este activo, en los últimos años los intereses de los bonos alemanes son negativos, es decir, los ahorradores e inversores pagan para que el estado alemán les guarde su dinero. [45]

6.2 COMO APLICAMOS LOS CONCEPTOS ECONÓMICOS ANTERIORES AL PROYECTO

- **Flujos de Caja y valoración mediante el VAN:**

La inversión en una instalación fotovoltaica tiene algunas particularidades que le hacen diferente a otros proyectos de inversión.

Normalmente, los proyectos de inversión consisten en realizar flujos de cajas salientes, (como por ejemplo la inversión inicial en paneles, el inversor, los soportes, la mano de obra, etc), con el objetivo de obtener unos flujos de caja entrantes(ingresos). Sin embargo, este proyecto tiene como objetivo obtener unos ingresos o unos flujos de caja entrantes, sino disminuir los gastos, por tanto, consideraremos como ingresos, el ahorro que supone en la factura el tener instalado el módulo fotovoltaico, en vez de realizar el consumo íntegro de una manera tradicional extrayéndolo de la red a través de una comercializadora eléctrica.

El desglose de los flujos de caja será:

Capítulo 6: Explicación del Cálculo de la Rentabilidad

- Pagos:
 - Inversión Inicial: Aquí se incluirá el coste total de todos los paneles, los materiales auxiliares de estos que se detallarán más adelante y el coste de la mano de obra para la instalación.
 - Gatos de Mantenimiento: Las instalaciones solares fotovoltaicas deben someterse a un mantenimiento y limpieza periódico que tienen un determinado coste. Algunos de estos problemas de suciedad que reducen la eficiencia del módulo solar se producen por problemas de polvo o excreciones aviares. Además, si el BIPV (Business In PhotoVoltaics) decide incluir una especie de seguro, para la reparación o sustitución de un panel en caso de avería o en el caso de existir un fallo del cableado, se incluiría en este tipo de flujo de caja, que, a diferencia de la inversión, inicial que se computa en el año 0, se repartirá a lo largo de los años que dure el proyecto.
 - Coste de desechado: Aquí se incluirá el coste de desechar estos paneles al final de su vida útil. Estos paneles solares deben ser reciclados por normativa y esto es un coste que se debe abonar
 - Intereses: Se abrirá la opción de que la empresa pueda conceder un crédito al usuario
- Cobros:
 - Se supondrán como cobros, aunque en realidad no lo sean, los ahorros que se producen en la factura de la luz

A la hora de realizar el VAN, se considerará que se realiza la inversión inicial en el año 0. Los flujos de los posteriores años se irán sumando y finalmente se hallará la rentabilidad del proyecto. Como se indicó en el apartado 5.4, evolución futura del precio de la electricidad, para calcular cuánto se ahorra con la factura, se supondrá que el precio de la electricidad será estable en los años en los que se evalúe el proyecto

- **TIR:**

La TIR se calcula con la fórmula mostrada en el apartado anterior y con unos supuestos de cálculo de los flujos de caja que hemos descrito para el cálculo del VAN, suponiendo un VAN 0 y calculado la r , dando esto la Tasa Interna de Retorno.

- **Tasa libre de riesgo:**

Se tomará como referencia el Bono Español a 10 años como Tasa “Libre de Riesgo”. Según los datos de la web datosmacro.com del diario Expansión [46],

Capítulo 6: Explicación del Cálculo de la Rentabilidad

en el mes de Julio de 2021, este bono ha ido fluctuando entorno al 0,45% de rentabilidad. En el proyecto se tomará como referencia una tasa libre de riesgo del 0,45%.

7 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN TECNOLÓGICA

Se explicará en este capítulo las motivaciones que han llevado a escoger los programas sobre los que se realiza la herramienta.

7.1 NECESIDADES

Como se explica en el apartado 1.4, el objetivo de la herramienta consiste en servir como soporte y guía, principalmente a una empresa BIPV (Business In PhotoVoltaics), dedicada a la comercialización y/o instalación de paneles solares fotovoltaicos- aunque también podría ser utilizado por un particular-, a la hora de dar servicio a un cliente para poder predecir el comportamiento que tendrían los paneles de cara a ese cliente, y ofrecerle una previsión de una posible rentabilidad instalando paneles, o una muestra de las posibilidades económicas valorando diferentes escenarios, como instalar nuevos o usados, cambiar la tarifa eléctrica, la potencia instalada, etc.

Todos los parámetros que entren en la aplicación serán números o se buscará la forma de transformarlos en valores numéricos para dotar a la aplicación de un sentido matemático, que permita un cálculo de una capacidad de producción y posteriormente de una rentabilidad económica. Por ello se necesita utilizar un programa de base con una potente capacidad de cálculo y también una cierta sencillez para realizar estos.

La idea también será separar, por un lado, la parte que utilizará el BIPV (Business In PhotoVoltaics) y la interfaz que utilizará el cliente.

La parte que utiliza el BIPV debe estar dotada de una cierta flexibilidad, puesto que este debe ser capaz de cambiar diferentes parámetros que dependan de este, como por ejemplo, el tipo de panel, la potencia pico asociada al panel, el precio o los costes de la obra civil y de los diferentes materiales auxiliares que participarán en funcionamiento de la instalación fotovoltaica, o parámetros que puedan acabar dejando la aplicación desfasada, como por ejemplo, la tasa que se cobra por desechar los paneles o la tasa libre de riesgo.

En el otro lado, encontramos la interfaz que utilizará el cliente, que quiera valorar la opción de instalar paneles solares con esa determinada empresa. Las necesidades de este cliente serán:

- 1) Visibilidad y comodidad: Las diferentes variables deben aparecer de una manera clara, el cliente debe saber que parámetros debe introducir, y cuáles no es necesario.
- 2) Una herramienta intuitiva: La aplicación debe guiar y ayudar al cliente,. Las indicaciones deben de ser simples y concisas.
- 3) Una pequeña guía para los términos que el cliente no conozca. Hay términos relacionados con el sector eléctrico, bastante desconocidos para el público

general, pero que con una pequeña explicación pueden ser fácilmente reconocibles y entendibles.

- 4) Un proceso que no se alargue en el tiempo, ya que tanto la paciencia, como el tiempo de un potencial cliente no es ilimitado, por eso, el proceso de introducción de los datos debe ser lo más rápido posible

Finalmente, resulta interesante, que, si el BIPV (Business In PhotoVoltaics) tiene capacidad e interés, abrirle la puerta al potencial cliente a financiar la instalación solar, de cara disminuir la inversión inicial que este deba afrontar, incentivando de esta manera la inversión permitiendo al BIPV incluso obtener unos ingresos extra.

7.2 SOLUCIONES

Tras valorar diferentes opciones como, por ejemplo, crear una aplicación de escritorio, mediante la implementación de código a través del uso de algún compilador como Visual Studio, finalmente se optó por realizar la parte del cálculo numérico, y de gestión de parámetros por parte del BIPV (Business In PhotoVoltaics) a través de una hoja de Excel y la parte del cliente, mediante una aplicación web con forma de formulario, creada gracias la plataforma Appsheet, explicada más abajo.

7.2.1 Excel

La hoja de cálculo de Microsoft destaca por su velocidad de cálculo, la capacidad de operar simultáneamente diferentes valores, y, su gran flexibilidad, por ello, se ha determinado este programa como base sobre la cual se van a introducir todos los cálculos de la herramienta. Además, se dejará una pestaña para la personalización de aquellos campos que dependan del BIPV. La herramienta de Excel se explicará con un mayor detalle en el apartado 10 de este documento.

7.2.2 Appsheet

Appsheet [47] es una plataforma que permite crear aplicaciones a través de bases de datos, como puede ser una tabla de Excel. Para dar un servicio al cliente que cumpla los requisitos del apartado 7.1, se creará una aplicación con aspecto de formulario, que de una manera intuitiva y lineal vaya permitiendo introducir al cliente todos los datos que puedan tener un impacto a la hora del cálculo de la rentabilidad. Esta aplicación, estará conectada con la hoja Excel que maneje el BIPV, siendo posible que este tenga también acceso a los datos del cliente. Se permitirá también que el cliente pueda introducir sus datos en la hoja Excel, siendo quizá la opción de Appsheet, más proclive a una situación online, y la de Excel a una situación presencial.

8 PARÁMETROS DE IMPACTO EN EL CÁLCULO

En este apartado, se tratarán algunos de los distintos parámetros que acabarán afectando en el resultado de la valoración realizada con la herramienta, así como su parametrización en esta.

8.1 EL PRECIO DE LA ELECTRICIDAD

El precio de la electricidad, como ya se ha comentado con anterioridad, es un factor fundamental que puede empujar a un pequeño usuario a instalar paneles solares, con el objetivo de disminuir el coste de su factura eléctrica. Es por ello, que unos precios de la electricidad altos pueden aumentar la rentabilidad de instalar paneles solares en una vivienda ya que estos podrían ser una alternativa mucho más barata.

Por otro lado, hay muchas tarifas que presentan diferencias horarias de precio, haciendo distinta la rentabilidad en función de la tarifa y los hábitos de consumo del usuario.

8.1.1 Conceptos

- **Término de Potencia:** Hace referencia a la capacidad máxima de energía eléctrica que un usuario podrá consumir en un instante determinado. Cada aparato eléctrico requiere una cierta potencia para funcionar y cuando la suma de estas potencias excede al término de potencia contratado el sistema colapsará y se interrumpirá el suministro eléctrico. El término de potencia tiene un importe fijo, por permitir el acceso a la red, aunque en determinadas tarifas pueda verse dividido en dos. [48]
- **Término de Consumo:** También conocido como término de energía se refiere al consumo efectivo que realiza el usuario en el periodo de facturación acordado con la compañía. [48]
- **Peaje de Acceso:** Es el importe que hay que abonar para tener acceso al sistema eléctrico. Se paga a la comercializadora a través de la factura de la luz. [49]

8.1.2 Mercado regulado frente al mercado libre

En España, tras la liberalización del Mercado realizada en el año 1997 con la promulgación de la Ley del Sector Eléctrico 54/1997, se crearon dos tipos de mercados para el acceso de los consumidores.

Por un lado, encontramos el Mercado Libre, que cuenta con casi tres centenares de comercializadoras [50], y donde como dice la palabra “Libre”, la comercializadora es la encargada de fijar un precio libre y el consumidor de elegir su tarifa. En el Mercado

Libre el precio que el consumidor pagará por el kWh es el que se fije en el contrato con la compañía comercializadora.

Por otro lado, se encuentra el Mercado Regulado, cuyo acceso lo pueden solicitar consumidores que no lleguen a los 10 kW de Potencia Instalada. Este mercado refleja los precios que se producen en el mercado mayorista, y este será el importe que se cobre al consumidor utilizando los datos del contador eléctrico. Al estar el precio en continua fluctuación el consumidor no será conocedor del precio del kWh que está utilizando. El acceso a este mercado únicamente se puede realizar por alguna de las compañías de referencia.

Ambos mercados comparten el mismo tipo impositivo, así como el coste de los peajes de acceso, diferenciándose únicamente en el precio.

8.1.3 Mercado regulado

El nombre recibido por la tarifa disponible en el mercado regulado era el de PVPC (Precio de Venta al Pequeño Consumidor). Hasta la reforma actual del mercado eléctrico con entrada en vigor el 1 de junio de 2021, este precio era igual al mercado por el mercado mayorista, donde los productores de electricidad ofertan un precio de venta y las comercializadoras uno de compra. Este precio era el que se aplicaba al consumidor en función de las horas en las que se produjese su consumo.

Tras la reforma del mercado eléctrico realizada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico, plasmada en el Boletín Oficial del Estado del día 30 de abril de 2021, el Precio de Venta al Pequeño consumidor pasó a fecha de 1 de junio de 2021 a estar fijado por el Gobierno dividiéndose en 3 tramos, un tramo pico, un tramo llano y un tramo valle, con un precio único y diferente para cada día.

8.1.4 Mercado libre

Hasta el 31 de mayo del 2021 se encontraban muy diferentes tipos de tarifas, donde las diferentes compañías fijaban unos precios para el kWh y los consumidores elegían la tarifa que más les convenía, sin embargo, tras la reforma del mercado eléctrico con el Real Decreto-ley 12/2021 [51], algunas de estas tarifas fueron suspendidas para adaptarse a la nueva legalidad.

Las tarifas anteriores a la reforma del 31 de mayo de 2021 se mantendrán en la aplicación, ya que es probable que vuelvan a aparecer en un futuro, Además, se incluirá la nueva tarifa tipo. Por tanto, analizaremos las tarifas según los tipos de peaje de acceso.

Tarifas de Acceso 2.0 A / 2.1 A

Siendo la 2.0A aplicada a consumidores con potencias instaladas menores a 10kW y la 2.1A a los consumidores con potencias instaladas de entre 10 y 15 kW, estas tarifas se caracterizaban por ofrecer al consumidor un precio fijo sobre los términos de potencia y consumo. Estos términos de potencia y consumo serían fijos durante el año, variando el precio de la factura por la cantidad de kW/h consumidos. [52]

Tarifa	Compañía	Término Potencia	Precio kW/h
Easy Luz	Naturgy	0,1233€/kW día	0,1134€/kWh

Tabla 3: Tarifa de Acceso 2.0 A/2.1 A. Fuente: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas>

Tarifas de Acceso 2.0 DHA / 2.1 DHA

Siendo la 2.0 DHA aplicada a consumidores con potencias instaladas menores a 10kW y la 2.1 DHA a los consumidores con potencias instaladas de entre 10 y 15 kW, estas tarifas se caracterizaban por ofrecer al consumidor un precio fijo sobre los términos de potencia y consumo, siendo este último dividido en dos tramos diferentes cada día, un tramo punta y otro valle. El tramo punta (o pico) sería el comprendido entre las horas 13:00h y 23:00h en verano, y 12:00h y 22:00h en invierno y tendría un precio más elevado al tramo valle, comprendido entre las 23:00h y las 13:00h en verano y las 22:00h y las 12:00h en invierno. Este tipo de tarifas incentivan el consumo en las horas valle donde es sensiblemente más barato el precio de la electricidad [52].

Tarifa	Compañía	Término Potencia	Precio kW/h punta	Precio kW/h valle
Tarifa Digital Noche Luz	Naturgy	0,0875 €/kW día	0,2061 €/kW h	0,1128€/kWh
Noche y día	Gesternova energía	0,1152 €/kW día	0,1617 €/kWh	0,0864 €/kWh

Tabla 4: Tarifa de Acceso 2.0 DHA/2.1 DHA. Fuente: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas>

Tarifas de Acceso 2.0 DHS/ 2.1 DHS

Siendo la 2.0 DHS A aplicada a consumidores con potencias instaladas menores a 10kW y la 2.1 DHS a los consumidores con potencias instaladas de entre 10 y 15 kW, estas tarifas se caracterizaban por ofrecer al consumidor un precio fijo sobre los términos de potencia y consumo, siendo este último dividido en tres tramos diferentes cada día, un tramo punta, uno valle y un último supervalle [52].

Esta tarifa no estará incluida en la Aplicación puesto que es muy similar a la 2.0 TD de la que se hablará posteriormente.

Tarifa	Compañía	Término Potencia	Precio kW/h punta	Precio kW/h valle	Precio kW/h supervalle
SuperValle	Gesternova Energía	0,1113€/kW día	0,1635 €/kWh	0,0976 €/kWh	0,0859 €/kWh

Tabla 5: Tabla 2: Tarifa de Acceso 2.0 DHS/2.1 DHS. Fuente: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas>

Tarifas Eléctricas Indexadas (Precio Indexado):

Las tarifas indexadas se pueden aplicar a consumidores indiferentemente de su potencia instalada, siendo la principal característica de estas tarifas que el precio no es fijo, sino que está conectado con el precio de venta de la electricidad del mercado mayorista, así el usuario final estará comprando la electricidad al precio al que se está vendiendo en el mercado mayorista, en esa hora en la que se está produciendo el consumo.

Así pues, el usuario el usuario sabrá solo el precio al que está comprando la electricidad mirando el precio del mercado OMIE a determinada hora. Este consumo horario se medirá mediante un contador inteligente.

Además del precio al que es comprada la electricidad el usuario deberá pagar un importe por el término de potencia instalado y una cuota fija mensual para poder acceder a esta tarifa.

Tarifa	Compañía	Término Potencia	Precio kW/h	Cuota Mensual
Tarifa Verde OVO Energy	OVO energy	0,1039 €/kW día	Precio de Mercado	3,5€

Tabla 6: Tarifa Eléctrica Indexada. Fuente: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas>

Tarifas Planas:

Una tarifa plana de electricidad consiste en el acuerdo del pago de una cuota mensual fija existiendo un consumo máximo a final de año, que en caso de ser sobrepasado acarreará una penalización económica. Las compañías distribuidoras de energía calculan esta tarifa plana en base a consumos de años anteriores. Tampoco estará incluida en la herramienta, porque la cuota será la misma consumamos con paneles o desde otra fuente.

8.1.5 Nueva Tarifa de Acceso

Tarifas de Acceso 2.0 TD:

Tras la Resolución de 28 de abril de 2021, en el BOE-A-2021-7120 por parte del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (todas las tarifas 2.0/2.1 (2.0A, 2.0DHA, 2.0DHS, 2.1A, 2.1DHA, 2.1DHS) pasarán a ser 2.0TD y todos los consumidores con las anteriores tarifas se les adoptará la nueva impuesta en el decreto [53].

Esta nueva tarifa constará de tres tramos, uno pico, uno llano y uno valle, con precios distintos. El tramo pico, donde el precio será más alto es el comprendido entre las 10:00h y las 14:00h y entre las 18:00h y las 22:00h. El tramo llano que acostumbrará a tener un precio intermedio será el comprendido entre las 08:00h y las 10:00h, entre las 14:00h y las 18:00h y entre las 22:00h y las 00:00h.

Finalmente, el tramo con el precio valle, donde el precio del kilovatio deberá ser más asequible, será el comprendido entre las 00:00h y las 08:00h además de los sábados, domingos y festivos.

Una de las particularidades es que se puede dividir la potencia contratada (y con ello el término de potencia de la factura) en dos tramos, uno para las horas pico y llano y otro para las valle.

Este cambio puede incentivar el autoconsumo solar ya que una disminución de la potencia contratada en las horas pico puede ser compensada con una producción eléctrica alternativa, reduciendo así el término de la factura.

TARIFA	TARIFA 2.0TD	2.0TD	ecovatios 2.0TD
Compañía	ELECTRICA DE GUIXES ENERGIA, SL	Lucera Energía Colectiva	ecovatios RENEWABLE VENTURES SLU
Término de Potencia Pico	32,67266 €/kW año	2.5561 €/kW mes	0,084035 €/kW y día
Término de Potencia Valle	3,42436 €/kW año	0.1187 €/kW mes	0,003902 €/kW
Precio kW/h punta	0,244513 €/kW h	0,2019 €/kWh	0,257 €/kWh

Precio kW/h Llano	0,146569 €/kWh	0,126 €/kWh	0,161 €/kWh
Precio kW/h valle	0,098831 €/kWh	0,083 €/kWh	0,118 €/kWh
Cuota Mensual	No	4,9 €/mes	No

Tabla 7: Tarifas de Acceso 2.0 TD. Fuente:

<https://comparador.cnmc.gob.es/comparador/listado/10D00C4BB3F10DAB7B5D5198BFB3F7CD0FE175947D7B3DBFBC8794D9EEA8F004A1DAB61262DD8001>

8.1.6 Como Afecta el Tipo de Factura en la Aplicación

Las tarifas se encuentran predeterminadas en la herramienta de antemano.

El usuario seleccionará la tarifa en la que actualmente se encuentra gracias a un desplegable. Este mostrará únicamente los campos que sean incluidos en esta tarifa, que deberán de ser rellenados por el usuario

La aplicación calculará el ahorro que supondría, durante las horas de luz del día, colocar una instalación fotovoltaica frente a mantener la tarifa actual y consumirlo de la red.

Se supondrá que se mantiene la potencia instalada, ya que se supone que el cliente seguirá utilizando el servicio eléctrico en horas en los que los paneles solares no estén funcionando, sabiendo que no se contemplará el almacenamiento de la energía más que para instalaciones aisladas.

Tras visualizar el VAN que se obtendría suponiendo el continuismo con la tarifa eléctrica, se permitirá seleccionar la opción de cambiar la tarifa eléctrica para comprobar si se pudiera aumentar aún más la rentabilidad.

8.2 IMPUESTOS

El sector eléctrico es un sector regulado en nuestro país y sometido a un elevado número de impuestos desde fases como la producción de energía al consumo final.

Algunos de estos impuestos son el Impuesto de Hidrocarburos, el Impuesto de derivados del petróleo, la aportación al fondo nacional de eficiencia energética, el impuesto sobre el carbón, el impuesto sobre el valor de producción de energía eléctrica, el canon por la utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica, impuestos sobre gases de contaminación atmosférica, el impuesto sobre la producción y transporte de energía que incida sobre el medio ambiente, los derechos de emisión de gases de efecto invernadero, el impuesto sobre almacenamiento de combustible nuclear gastado, etc. [54]

Sin embargo, no entraremos a valorar los impuestos que afectan a la producción de energía debido a que estos están incluidos ya en el precio de la energía eléctrica en el mercado mayorista y a la hora de valorar la rentabilidad de instalar paneles fotovoltaicos, lo que interesa es el precio final al que el consumidor compra la electricidad.

Por la afección directa al consumidor los impuestos más importantes son:

- Impuesto sobre la electricidad: El impuesto eléctrico es una tasa que se aplica sobre los consumidores de energía eléctrica, siendo un 5,1127% del coste del término de potencia y de consumo.
- IVA: El impuesto sobre el valor añadido se aplica también a la factura eléctrica, siendo del 21% del coste total de esta. Ahora mismo existe una reducción temporal del IVA, en virtud al Real Decreto-ley 12/2021, aunque solo se aplica en situaciones concretas y tiene fecha de caducidad en diciembre del año 2021, por lo que es algo coyuntural.
- Tasa Municipal: Consiste en un 1,5% del total de los costes (excepto los peajes), aunque por norma general serán una parte de la cuota de la compañía y no suele aparecer en la factura.

8.2.1 Los impuestos dentro de la Herramienta

El BIPV será el encargado de introducir la tasa impositiva. Los impuestos que se incluirán serán el IVA y el impuesto eléctrico. Para el caso práctico se utilizarán en sus valores actuales.

A la hora de realizar el cálculo estos impuestos se añadirán al coste de la tarifa, si no hubiese instalación fotovoltaica. Una de las ventajas competitivas que tiene el instalar módulos fotovoltaicos frente al consumo de energía procedente de la red eléctrica es el ahorro de impuestos como el IVA o el Impuesto sobre la Electricidad.

8.3 EXCEDENTES

En virtud del RD 244/2019 el usuario tiene derecho a verter a la red eléctrica, la energía que produzcan sus paneles solares y él no consuma, así como recibir una compensación por parte de la comercializadora.

La compensación de estos excedentes no será una remuneración al usuario, ya que este no tiene capacidad para participar de una manera directa en el mercado mayorista y vender su electricidad, para lo cual se necesitarían otros permisos burocráticos y una estructura empresarial, si no, que este verá bonificada su factura, estos excedentes permitirán a la comercializadora reducir la factura del cliente.

La comercializadora asignará un valor a los potenciales excedentes.

Al final del periodo de facturación se revisará el contador bidireccional del usuario, y se le rebajará la parte correspondiente al término de energía o consumo. Como se ha visto en el apartado 8.1, la factura estará compuesta en un término de potencia y uno de energía. El término de potencia se paga por la potencial disposición a consumir determinada intensidad eléctrica, y de ese coste, el excedente no reduce nada, solo del término de energía que se refiere al número de kWh consumidos en el periodo de facturación. Este término puede ser compensado en su totalidad.

8.3.1 Como se Introducen los Excedentes en la Aplicación

En función del tipo de instalación seleccionada por el cliente, se le habilitará una casilla donde introducirá el precio al que la comercializadora le retribuirá los excedentes.

Existirá por otro lado una casilla donde se dará la opción a poner un máximo al número de excedente vertidos, y si no existiese este límite, se podrán verter excedentes hasta el punto en el que el término de consumo de la factura sea igual a 0.

8.4 TIPO INSTALACIÓN

Se definirán utilizando el RD 244/2019 [55], que es una instalación aislada y que una conectada a la red.

Instalación aislada: Aquella en la que no existe en ningún momento capacidad física de conexión eléctrica con la red de transporte o distribución ni directa ni indirectamente a través de una instalación propia o ajena. Las instalaciones desconectadas de la red mediante dispositivos interruptores o equivalentes no se considerarán aisladas a los efectos de la aplicación de este real decreto.

Instalación conectada a la red: Aquella instalación de generación conectada en el interior de una red de un consumidor, que comparte infraestructuras de conexión a la red con un consumidor o que esté unida a este a través de una línea directa y que tenga o pueda tener, en algún momento, conexión eléctrica con la red de transporte o distribución. También tendrá consideración de instalación de generación conectada a la red aquella que está conectada directamente a las redes de transporte o distribución.

Dentro de las conectada a la red se distinguirá entre las que vierten excedentes a la red, y las que no lo hacen.

8.4.1 Como influye el tipo de Instalación

Atendiendo a lo anterior tendremos en la aplicación los siguientes tipos de instalaciones:

- **Autoconsumo Aislado:** Se considerará esta opción para aquellas instalaciones que no estén conectadas en ningún caso a la red. Además, se propondrá la opción de incluir una batería para el consumo de energía en momentos donde los paneles no se encuentren en producción. No tienen límite de potencia instalada. Esta instalación no verterá excedentes a la red. Su situación se comparará con la situación anterior estando conectada a la red. Es probable que el VAN y la rentabilidad salgan muy superiores a otros casos, ya que la herramienta valorará únicamente motivos económicos y no de

calidad del servicio. Con una instalación aislada, el cliente se ahorraría tanto el término de consumo, como el de potencia, de la factura, pero sin unas capacidades de almacenamiento adecuadas, aunque exista un VAN y una TIR elevados, puede que el usuario no esté percibiendo el mismo servicio del que disponía en la situación previa.

- **Autoconsumo Individual con Excedentes:** Se considerará esta opción para aquellas instalaciones de potencia inferior a 15kW que viertan excedentes a la red, pero que también reciban suministro por parte de una comercializadora en las horas en que no haya demanda. Para ello se deben cumplir los requisitos enumerados en el Real Decreto 244/2019 y llegar a un acuerdo con la comercializadora que se encargará de bonificar parte de la factura gracias a estos excedentes.

A la hora de instalar una establecer una instalación solar esta opción resulta bastante interesante, ya que, sin apenas trámites, en los momentos en que los paneles estén produciendo energía y el usuario no la esté consumiendo, esta energía, que de otra manera se perdería, será vertida a la red eléctrica y a cambio el usuario recibirá una compensación. El vertido de excedentes puede hacer el hecho de que los hábitos de consumo sean diferentes a los de producción solar indiferente a la hora de instalar paneles, ya que, de una u otra forma, el usuario consigue ahorrarse el coste del término de energía.

- **Autoconsumo Individual Aislado:** Instalación de Potencia inferior a 15kW que no vierta excedentes a la red. Esta instalación seguirá conectada a la red y pagará por su término de potencia y por la energía que consuma no proveniente de sus paneles, sin embargo, el excedente de lo que produzcan sus módulos solares, no será vertido a la red.

8.5 LOCALIZACIÓN

La localización de la aplicación es un factor de cierta importancia, porque determinará las horas de luz diarias a las que estará sometida la instalación.

La radiación solar varía entre las diferentes provincias españolas debido a la rotación del sol, siendo los días más largos en el norte en verano, y más largos en el sur en invierno.

8.5.1 Como influye la localización

La localización es un punto importante a la hora de instalar módulos fotovoltaicos, no ya solo a la hora de evitar de obstáculos que proyecten sombras sobre la instalación fotovoltaica, sino también porque no todos los lugares reciben luz las mismas horas al año, ni en la misma intensidad. Por ejemplo, una localización que reciba más energía solar, en un mes donde la electricidad sea más cara, tendrá unos ahorros superiores a la hora de utilizar la energía del módulo y no la de la red a un precio de mercado.

Capítulo 8: Parámetros de Impacto en el Cálculo

Por otro lado, la estacionalidad de las residencias de los clientes y también de los consumos (con picos en invierno y verano) hacen de la localización un factor que otorga variabilidad a la rentabilidad.

Por ello, en la aplicación, se permitirá elegir como localización, a través de un desplegable, una provincia española, que tendrá asociados los datos de irradiancia recibida mensualmente, los cuales intervendrán en el cálculo de la producción eléctrica de los paneles solares.

Los datos de número de horas de luz cada mes serán extraídos de la web: <https://www.epdata.es/horas-luz-provincias-2019/6841c77e-e946-420e-a0c4-cff4de1154f3>

Las condiciones meteorológicas son un factor que influye también en el desgaste y la evolución de la eficiencia de los paneles, ya que las altas temperaturas, el hielo, la lluvia, el polvo o la nieve pueden ir deteriorando los módulos, sin embargo, este tema no se tratará en el presente trabajo, por lo que podría quedar como una futura línea de investigación.

8.6 ORIENTACIÓN

La orientación es un factor de notable importancia a la hora de instalar las placas solares, ya que la rotación de la tierra provoca diferentes ángulos de incidencia de los rayos del sol sobre los módulos fotovoltaicos, provocando rendimientos dispares.

La mejor orientación es la orientación sur por recibir de manera directa los rayos durante la mayor parte del día, y en su incidencia máxima en las horas centrales, por eso es la orientación recomendada por norma general.

Si el tejado no tuviese orientación sur, pero esta orientación no excede los 45° con el sur, apenas habría una pérdida en la eficiencia de los paneles de entre el 1 y el 4%. [56]

Si por el contrario, el tejado estuviese orientado en dirección este u en dirección oeste, la eficiencia de los paneles sería un 20% inferior a la eficiencia con orientación sur. [56]

Sin embargo, pese a esta pérdida de eficiencia la configuración oeste puede ser muy buena opción, ya que, aunque en términos generales se genere una producción menor a la orientación sur, en las horas donde el consumo suele ser más elevado como son las horas de la tarde, es donde mayor eficiencia tienen los paneles con una orientación oeste.

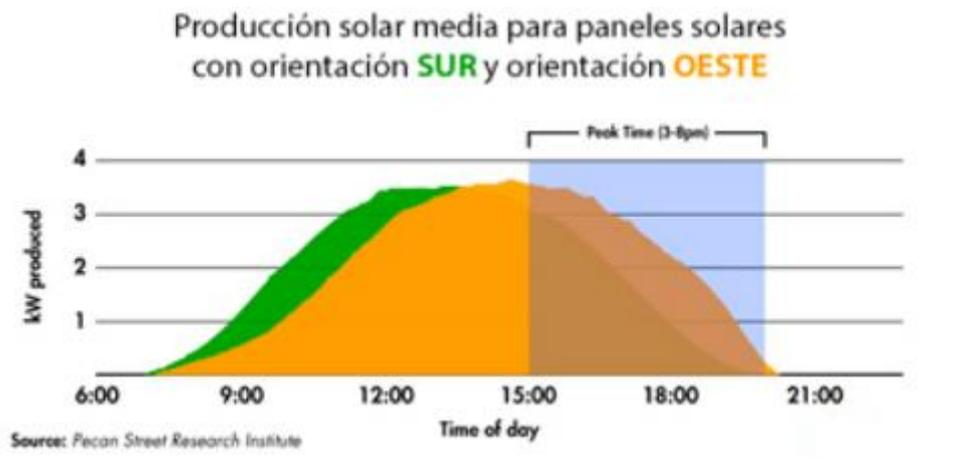


Ilustración 23: Producción de los Módulos con Orientación Sur(verde) frente a los de Orientación Oeste(amarillo) [57]

Como se puede ver en la Ilustración anterior, si los consumos se realizan principalmente en las horas finales del día (el sol por la tarde se encuentra en el oeste) puede ser más rentable por los paneles en esa dirección.

8.6.1 Configuración Este-Oeste

En los últimos tiempos se está empezando a adoptar en mayor medida esta distribución, en contraposición con la sur, ya que permite distribuir de una manera más homogénea durante el día la producción de energía solar.

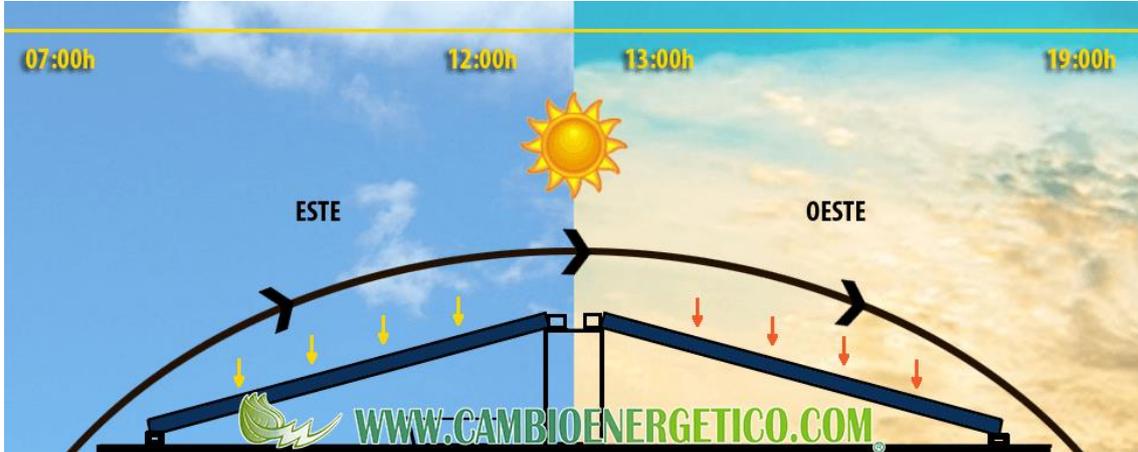


Ilustración 24: Módulos Orientación Este-Oeste (<https://cambioenergetico.com/blog/como-oriento-las-placas-solares/>)

En esta configuración, la mitad de las placas estarían distribuidas mirando al este y la mitad mirando al oeste. De esta manera los paneles orientados al este producirían energía desde el alba y los orientados al oeste producirían hasta el anochecer. [57]

Algunas de las ventajas de esta configuración es que evita las sombras que produce la configuración Sur, además ocupa menos espacio al ser más compacta.

La potencia de salida en las instalaciones este-oeste respecto a la sur es más compacta y abarca un mayor espacio de tiempo como se puede ver en la siguiente imagen:



Ilustración 25: Producción Orientación Sur vs Orientación Este-Oeste [57]

8.6.2 Parametrización de la localización en la aplicación

Como el sol no siempre incide con la misma perpendicularidad, y ni con la misma irradiancia, las placas solares no van a estar durante todo el día trabajando a su potencia máxima. Por ello, se tratará de buscar un valor, para corregir la potencia máxima del módulo, y encontrar a que potencia media trabajará según la orientación.

Con una orientación sur, el módulo recibirá escasa luminosidad en las horas iniciales y finales del día, sin embargo, justo a las horas centrales, trabajará a su potencia máxima, como se puede ver en la ilustración 25 del apartado anterior.

Suponiendo un eje y, como el porcentaje de la potencia máxima, y un eje x como las horas del día. Para modelar la orientación sur se buscará una curva, que a las 8:00 de la mañana y a las 20:00 de la noche, corte con una eficiencia 0 (eficiencia 0 durante los primeros momentos de la mañana y los últimos de la tarde) y que a las 14:00h, la hora central del día, tenga una eficiencia máxima de 1. Además, que tenga un crecimiento exponencial.

La curva sería aproximadamente la siguiente:

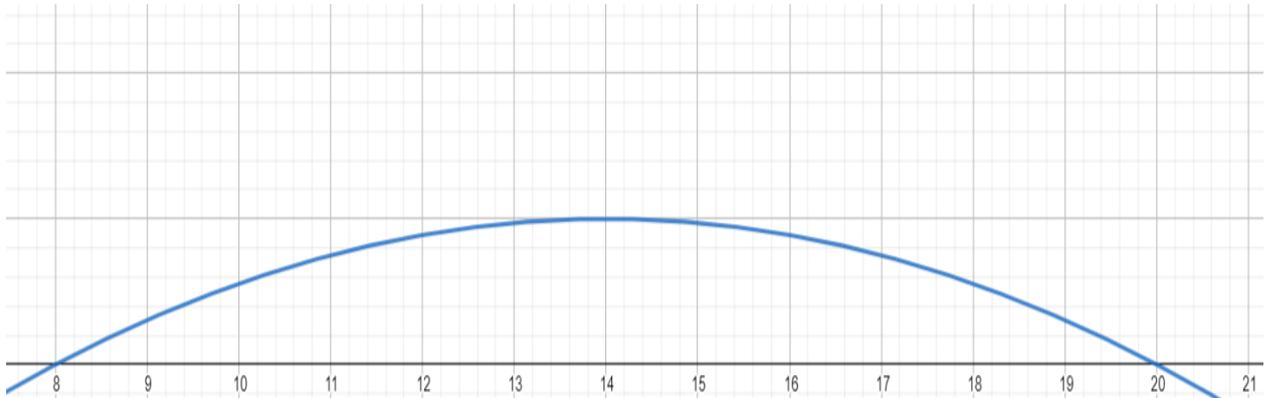


Ilustración 26: Curva Orientación Sur. Fuente: Propia elaboración

Y su función de distribución:

$$y = \frac{-(14 - x)^2}{36} + 1$$

Si realizamos una integral definida en x, entre los valores de 8 y 20,

$$\int_8^{20} \frac{-(14 - x)^2}{36} + 1 \, dx$$

resulta que el área bajo la línea azul es 8.

Si hallamos el área total entre x=8, y x=20, cuando la eficiencia es máxima:

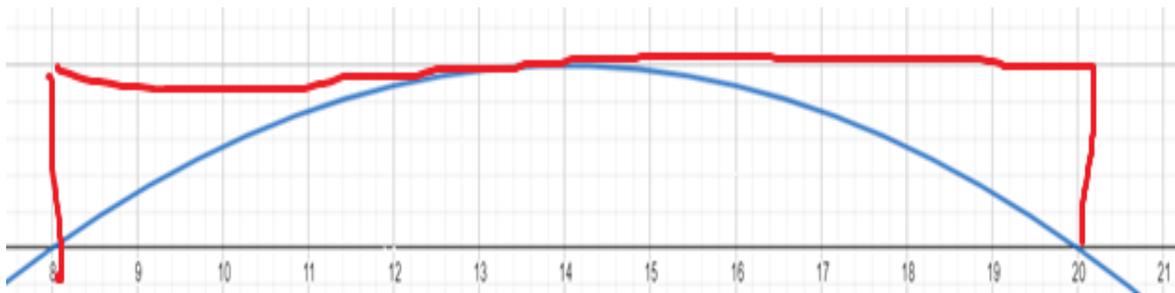


Ilustración 27: Horas totales día -vs- Potencia a la que produce un panel. Fuente: Propia elaboración

Es decir, si la eficiencia fuese máxima y desde el amanecer al anochecer se generase a eficiencia máxima, el área bajo la línea roja sería de 12. Por tanto, del total de eficiencia posible, el instalar las placas solares al sur, hace que la instalación funcione de media al $8/12 = 66,6666\%$ de su eficiencia máxima.

Supongamos ahora una orientación Este-Oeste. Esta no alcanzará la potencia pico de todas las placas como puede propiciar una orientación sur, sin embargo, tanto en los momentos iniciales del día como en los momentos finales, tendrá mucha más capacidad de generación. Según la ilustración 25 del apartado anterior, la instalación se comportará más bien como una curva cuadrática. Como se explica en el punto 9.7 de este documento, una orientación este, o una oeste, tienen un 20% menos de eficiencia que la sur, por tanto, se supondrá que la potencia pico que alcanzará esta instalación será un 80% de la alcanzada por una con orientación sur, pero esta potencia pico será más constante a lo largo del día.

La curva que represente una instalación este-oeste será la siguiente:

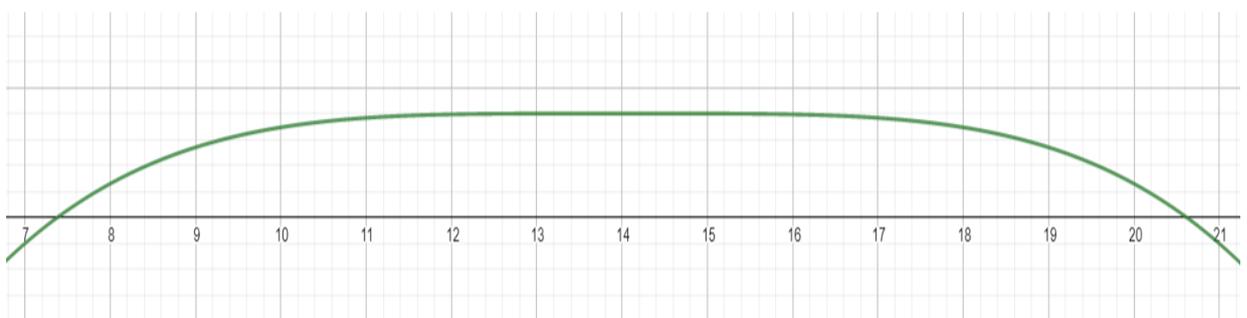


Ilustración 28: Curva Este-Oeste. Fuente: Propia elaboración

Y la función de distribución:

$$y = \frac{-(14 - x)^4}{2401} + 0,8$$

Integrándola:

$$\int_8^{20} \frac{-(14-x)^4}{2401} + 0,8 \, dx$$

Nos arroja un área de: 8,3

Que sería un 69,16% (8/12) del área si la eficiencia fuera máxima.

Por tanto, la orientación este-oeste tiene una eficiencia ligeramente superior a la sur, y esta está más distribuida a lo largo del día.

En la aplicación por tanto se utilizarán los siguientes valores para corregir la potencia máxima y que al multiplicar por las horas del día nos de la producción real:

ORIENTACIÓN	MULTIPLICADOR APLICACIÓN
SUR	0,666666
ESTE-OESTE	0,69166
ESTE	0,53333
OESTE	0,533333

Ilustración 29: Parametrización Orientación

Ya que la orientación esta y la oeste producen un 20% menos de eficiencia que la sur.

8.7 CONSUMO DEL USUARIO

La distribución horaria del consumo del usuario es un factor fundamental a la hora del cálculo de la rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas.

Como hemos visto, los paneles solares no tienen una producción homogénea a lo largo del día y dependen de la forma en que los rayos inciden sobre su superficie, esto hace que no estén todo el día produciendo a su máxima potencia, y que el usuario no pueda hacer uso siempre de esa potencia instalada.

Si el usuario está demandando más electricidad de la que los paneles de su vivienda están produciendo en ese momento, y la instalación está conectada a la red eléctrica, se demandará energía a la red para abastecer el consumo del usuario, aumentando esto el coste de la factura. Si por el contrario el usuario dispone de una instalación aislada, la instalación no tendría capacidad para satisfacer la demanda del usuario (a no ser que existiesen unas baterías). Lo mismo sucedería si los paneles no están produciendo ningún tipo de energía durante la noche.

Por otro lado, si el usuario está consumiendo (o no haciéndolo) menos recursos energéticos de los que suministra la instalación fotovoltaica, estos “excedentes” pueden ser vertidos a la red, siempre y cuando se tengan los permisos para ello como se explica en el apartado 8.3. Por estos excedentes se obtiene una reducción

monetaria del coste de la electricidad de la factura. Si la instalación no está conectada a la red estos se perderán, aunque también pueden ser almacenados en baterías para la posterior utilización.

8.7.1 Parametrización del consumo del usuario en la herramienta

Las tendencias de consumo del usuario pueden suponer una gran diferencia a la hora de instalar paneles sobre todo cuando no se compensan los excedentes, por ello, pese a la dificultad para parametrizarlo por parte del usuario, se decide incluirlo en la aplicación.

Desde el lado de un usuario, se erige bastante complicado conocer los horarios de consumo, o extraer conclusiones sólidas a través de los datos que pueda aportar el contador.

En la aplicación, se le pedirá al cliente introducir un porcentaje de la electricidad que estima que consume en las horas del día, cuando se reciba luz solar, y los paneles se encuentren en funcionamiento. En esos instantes, la electricidad utilizada tendrá su procedencia en los módulos fotovoltaicos, en vez de, en la red eléctrica.

Por ello se tratará de dar algunas cifras orientativas a los clientes sobre cuáles son sus pautas de consumo, de cara a introducirlo en la aplicación. Los electrodomésticos suponen un 56% del consumo eléctrico de una vivienda. De los electrodomésticos, únicamente el frigorífico supone un 30% del consumo total y es principalmente un consumo que se distribuye de manera lineal durante todas las horas del día. [58] El modo stand-by de las televisiones, que es otro coste que se distribuirá básicamente de manera lineal, supone otro 7% del consumo de los electrodomésticos [58]. Por ello, suponiendo que siempre existirán unos consumos eléctricos fijos, distribuidos a lo largo del día, se recomendará a los clientes que introduzcan el valor de 25% de su consumo en horas luminosas, si la mayoría de sus actividades (ver la televisión, planchar, poner lavadoras, lavavajillas, cocinar, encender luces, etc) se realizan en horas a partir del atardecer. En cambio, se recomendará introducir un valor del 75% (en su consumo en horas luminosas), si la mayoría de las tareas y consumos son realizados durante las horas luminosas del día. Si por el contrario, el cliente no detecta ninguna pauta propia de consumo, se recomendará introducir un 50% con dato de entrada en la aplicación.

8.8 COSTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

El coste de los paneles es un factor que aumentará el coste de la inversión inicial de la Instalación, y el aumentar el coste de la instalación puede disminuir la rentabilidad de esta. Esto no siempre es así porque dependerá de la eficiencia del panel también, encontrándonos en la dicotomía de eficiencia-precio.

En el mercado, el coste del panel está marcado por el tipo de panel, ya sea monocristalino, policristalino o de otro material. Otros factores que determinarán el

Capítulo 8: Parámetros de Impacto en el Cálculo

precio serán la potencia máxima, la pérdida de eficiencia anual, la garantía de la que se disponga o la resistencia a soportar viento o nieve.

Se van a mostrar algunos paneles nuevos que se pueden encontrar en el mercado (los precios serán extraídos de los vendedores online TECNOSOLAB [59] Y DAMIASOLAR [60]):

Tipo	Panel	Potencia máxima	Dimensiones	Garantía	Otras especificaciones	Precio
Policristalino	Placa Solar JINKO 275Wp policristalina	275W	1650 x 992 x 40 mm	Ofrecen una garantía de 12 años y aseguran que mantenga el 80% de la potencia nominal al menos 25 años	Eficiencia del 16,8%	119€
	Placa solar Sharp 250w 24V policristalina:	250W	1652 x 994 x 46mm	Se asegura una eficiencia superior al 90% los diez primeros años de uso del panel y del 80% a los 25 años de vida.		250€
Monocristalino	Placa Solar JINKO Cheetah 330Wp 60M	330 W	1684×1002 ×30mm	Las placas 330w JINKO CHEETAH tiene una garantía de producto de 10 años y 25 años de garantía de potencia lineal	Eficiencia: 19.56%	144,00 €
	Placa Solar JINKO TIGER Pro 525Wp	525W	2.230 ×1.134×35 mm	Ofrece una garantía de producto de 10 años y 25 años de garantía de potencia lineal.	Eficiencia: 20,76%	238€

Capítulo 8: Parámetros de Impacto en el Cálculo

	Placa solar Pevafersa 180w monocristalina	180W	1600 x 800 x 45 mm	Garantía de rendimiento. 10 años al 90%, 25 años al 80%.		210€
--	-------------------------------------------	------	--------------------	----------------------------------------------------------	--	------

Tabla 8: Precios Placas Solares. Fuentes: [//https://tecnosolab.com/placas-solares-por-unidad//](https://tecnosolab.com/placas-solares-por-unidad)
<https://www.damiasolar.com/productos/paneles-solares-1>

8.8.1 Precio Paneles Usados

Uno de los grandes problemas a la hora de tratar la reutilización de paneles, es la ausencia de un mercado establecido. Existen iniciativas en algunos países europeos como las que se nombran en el capítulo 3, donde algunas empresas empiezan a comercializar paneles usados, pero nada parecido a un mercado competitivo, con diferentes fabricantes y comercializadores.

La ausencia de este mercado hace que el precio de los paneles usados llegue a ser muy variable y dependa de los acuerdos a los que llegue el futuro vendedor/instalador con la empresa gestora del huerto solar del que se retiren los paneles. Además, se pueden incluir costes extras como la inspección, el transporte o la reparación de los módulos

Debido a que en el capítulo 3, se obtuvo que el precio que podría obtenerse por la venta de los diferentes componentes (en estado de correcto funcionamiento), rondaría los \$18,2, de cara al caso práctico se le van a asignar de cara al caso práctico un valor de 20€ a cada uno de los paneles usados, a modo de mejorar el coste de oportunidad, sin embargo, este coste se dejará abierto para la modificación por parte del BIPV.

8.9 MATERIALES AUXILIARES DE LA INSTALACIÓN

Los paneles solares no son el único coste que se encuentra a la hora de realizar una instalación fotovoltaica. Esta debe ir acompañada de otros elementos auxiliares y procesos que conformarán un coste añadido extra. Algunos de estos elementos son:

- **Estructura de las Placas Fotovoltaicas:** La estructura soportante es la encargada de mantener estables los paneles, así como de encargarse que tengan la orientación adecuada. [61]



Ilustración 30: Estructura Soportante [61]

- **Contador bidireccional:** Los contadores bidireccionales son unos instrumentos que sirven para medir la energía que se obtiene de la red eléctrica, es decir, la que obtiene el usuario, así como la que se vierte a esta. [62]
Los contadores bidireccionales son fundamentales en las instalaciones con vertido de excedentes, ya que sirven para contabilizar estos.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua que producen los paneles solares, en la corriente alterna que utiliza la red eléctrica, y que se utiliza en los domicilios. Es necesario para cualquier tipo de instalación, ya sea aislada o conectada a la red. [63]



Ilustración 31: Inversor Solar (<https://www.hgingenieria.com.co/que-es-un-inversor-solar-y-cual-es-su-funcion-en-los-sistemas-fotovoltaicos/>)

- **Mano de Obra:** La instalación propiamente dicha. Es el coste de las personas y procesos necesarios para acoplar los paneles en la superficie que se desee con la orientación buscada.
- **Trámites burocráticos:** La instalación puede requerir algunos trámites burocráticos. Por norma general, para instalaciones de autoconsumo de menos de 15kW de potencia máxima instalada, el usuario no necesitará solicitar ni permisos de obras ni otros permisos adicionales de autoconsumo. Sin embargo, esto puede variar y por ello se dejará abierta la opción. [51]
- **Cuadro de Protecciones para CC y CA:** Son unos mecanismos de seguridad que aseguran el buen funcionamiento de los equipos y protegen de incidencias a los usuarios [64].
- **Baterías y regulador de carga:** Esto solo sería conveniente si se buscara realizar una instalación aislada de la red. Las baterías conseguirían acumular parte de la producción energética conseguida en las horas de sol, que podría ser utilizada posteriormente para satisfacer el consumo del usuario. El regulador de carga por su parte controla la carga energética que almacenan las baterías, impide que el sistema eléctrico se sobrecargue o se descargue demasiado, además ayuda a alargar la vida útil de la batería. [65]

8.9.1 Precio de los Materiales

A continuación, se enumerarán los precios aproximados que se incluirán como referencia en la herramienta, aunque podrán ser cambiados por el responsable de la gestión de esta. Estos precios se extraen del siguiente artículo: <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>

Componente	Precio
Estructuras de Soporte	80-100 €/cada 2 paneles
Contador bidireccional	200 - 250 €
Mano de obra y materiales	500 - 700 €
Cuadro de protecciones para CC y AC	200 €
Inversor Solar	1.400 - 1.600 €

Tabla 9: Precios Componentes Auxiliares. Fuente: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas/2-0>

8.10 POTENCIA MÁXIMA PANELES USADOS

A la hora del cálculo de la rentabilidad, en el cálculo con paneles reutilizados, se necesitará la potencia máxima que posean estos. Como se supondrá que estos paneles se adquieren de una gran instalación que por algún motivo (daños en algunos paneles, fin de funcionamiento, recambio en busca de mejores eficiencias), y el periodo de mayor implantación de paneles en España fue el año 2008, se tomará la eficiencia que presentaban los módulos en ese año como referencia.

En el año 2008, los paneles monocristalinos presentaban una eficiencia cercana al 16% [3], por tanto, suponiendo una pérdida de eficiencia cercana al 1% anual, un panel instalado en 2008 contará en 2021 con una eficiencia aproximada al 14%.

Tomando como referencia el Panel Jinko Cheetah (2021) con una eficiencia de 19,56%, y una potencia máxima de 330 W, realizando una regla de 3, obtenemos una potencia pico de 236 W para un panel monocristalino del 2008.

8.11 DEGRADACIÓN PANELES SOLARES

Los paneles van perdiendo eficiencia a lo largo del tiempo, debido al desgaste de sus materiales por el funcionamiento, es por ello, que la degradación de los paneles es un factor importante que va a marcar el rendimiento de la instalación en un futuro.

Los fabricantes y comercializadores de paneles solares nuevos ofrecen datos en la ficha técnica sobre cómo va a evolucionar la eficiencia del panel a lo largo de los años. Además, también ofrecen garantías de funcionamiento, las cuales, en caso de incumplirse, acarrearían una devolución del dinero de compra o una sustitución de los paneles.

La firma, Jinko, ofrece en las fichas técnicas de sus productos la siguiente infografía:

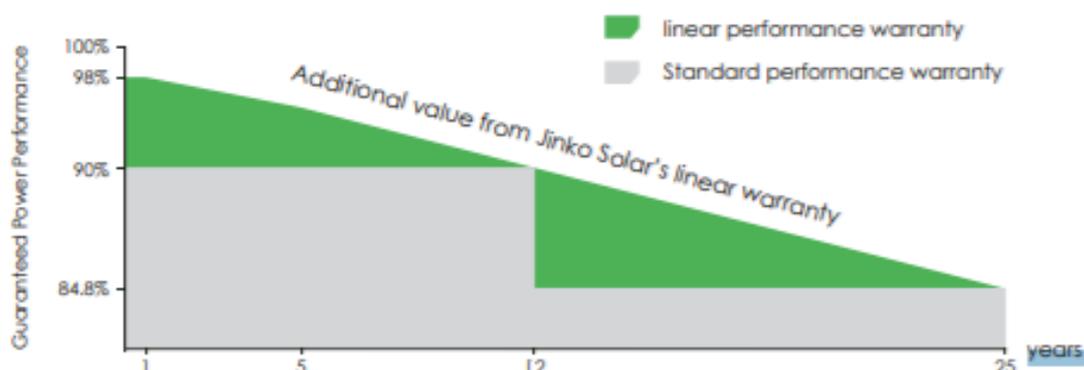


Ilustración 32: Evolución eficiencia paneles Jinko. Fuente: <https://tecnosolab.com/placas-solares-por-unidad>

En la ilustración anterior se puede ver, como la eficiencia disminuye hasta alrededor del 90% a los 12 años de su máxima potencia. A los 25 años el fabricante sigue asegurando un rendimiento superior al 84,8%, lo cual, si se ajusta linealmente, indica una disminución de la eficiencia del 0,54% anual.

Como se puede ver también en la web (<https://www.damiasolar.com/productos/paneles-solares-1>,) los fabricantes, ofrecen 10 años de garantía de rendimiento superior al 90%, y una garantía de 25 años de rendimiento superior al 80%.

Por ello, aunque la degradación también está influenciada por el clima, en la aplicación se le va a suponer una degradación estándar del 0,54% a los paneles solares, aunque este valor siempre va a poder ser modificado por el gestor de la aplicación (BIPV).

8.11.1 Recambio Paneles Usados

A los 25 años, la mayoría de los fabricantes dejan de ofrecer garantías de rendimiento lineal, sin embargo, esto no quiere decir que los paneles dejen de funcionar. Muchos paneles podrán llegar a mantener eficiencias del 70% de su producción original a los 40 años de su puesta en funcionamiento. [66]

Sin embargo, el hecho de que los paneles estén formados por decenas de células interconectadas, y el fallo de alguna de estas puede provocar una caída importante en el rendimiento del panel, y con ello de la instalación. [67]

Además, el hecho de que estos paneles ocupen un espacio físico hace que pueda no ser muy útil tener un espacio ocupado por paneles de baja eficiencia.

Por estos motivos, se configurará la herramienta con la opción de recambiar los paneles solares usados, en algún momento de la vida útil. Como los proyectos de

Capítulo 8: Parámetros de Impacto en el Cálculo

inversión en paneles, suelen tener una duración de unos 20/25 años, la garantía de disminución lineal de la potencia, que ofrecían anteriormente los fabricantes, se permitirá realizar, si el gestor de la aplicación (BIPV), lo cree conveniente, un recambio de un porcentaje de esos paneles.

9 FUNCIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA

La herramienta va a tener dos modos de funcionamiento denominados: Modo formulario y modo hoja cliente.

El modo formulario está pensado para su uso online. Consiste en un enlace, a través del cual, un potencial cliente rellenará unos determinados campos, con la información básica para un primer análisis de su situación particular. Estos datos se conectarán con la hoja Excel que gestiona el BIPV que, si lo desea, a través de los campos de contacto que incluye el formulario, podrá ponerse en contacto con el cliente para ofrecerle un presupuesto. Anejado al presente documento, se proveerá de una pequeña guía para el acceso al formulario, así como la manera de mantenerlo conectado con la herramienta de Excel. Por simplicidad, cuando se está utilizando el modo formulario no existe la opción del recálculo de la rentabilidad cambiando de tarifa.

El modo de hoja cliente está pensado principalmente para ser rellenado el cliente presencialmente junto con la empresa dedicada a instalar los paneles. Después de rellenar la hoja de Cliente junto con la ayuda del BIPV (Business In PhotoVoltaics), se moverá a la hoja de Resumen, donde se verá el VAN, los costes de la instalación y podrá optar a comprobar la rentabilidad realizando un cambio de tarifa y comprobar esta rentabilidad también solicitando un préstamo para financiar la instalación.

9.1 CONFIGURACIÓN DEL EXCEL Y PROBLEMAS DE COMPATIBILIDAD

Tras realizar algunas comprobaciones con diferentes ordenadores, se ha detectado que hay veces que dependiendo de la versión del Excel aparece un error, en la herramienta.

Este error se debe a que la fórmula BUSCARX no es reconocida por algunas versiones de Excel, que la sustituyen por una función llamada XLOOKUP, produciéndose un error debido a que la separación de los argumentos que recibe cada función se hace diferente.

En el caso de la hoja Excel de Microsoft 365, la herramienta funciona perfectamente, aunque pueden surgir problemas con la versión de Excel 2016.

Esto podría ser resuelto cambiando los ; por , en las funciones XLOOKUP que aparecen en algunas fórmulas.

9.2 INICIO

Consistirá en una pequeña introducción, seguida de un desplegable donde se elegirá el modo de funcionamiento.

Posteriormente habrá enlaces a las diferentes hojas que conforman la herramienta. La imagen de la vista será la siguiente:

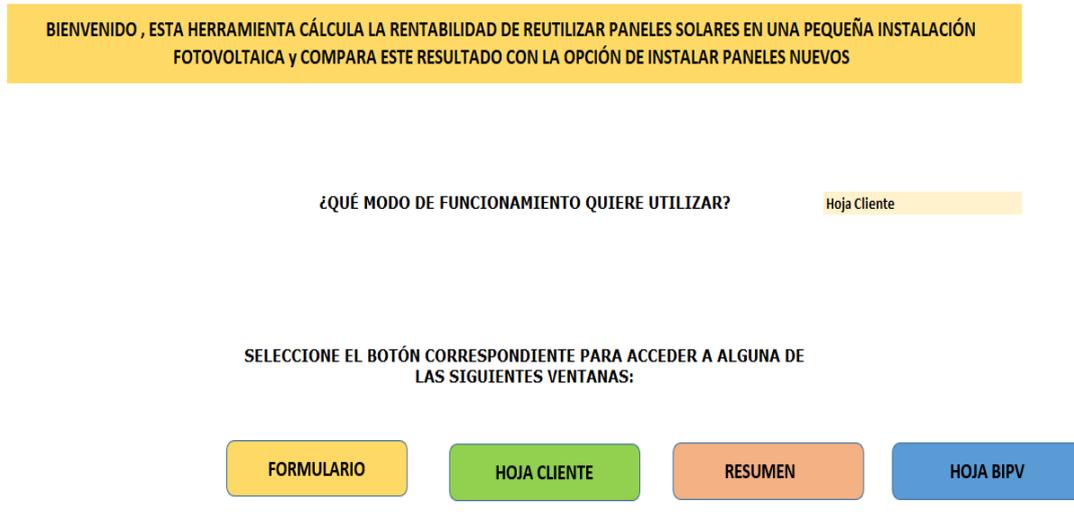


Ilustración 33: Vista Inicio Herramienta

9.3 FORMULARIO

En la hoja Inicio se deberá seleccionar al cliente que se desee en el desplegable que se desee como en la siguiente vista:

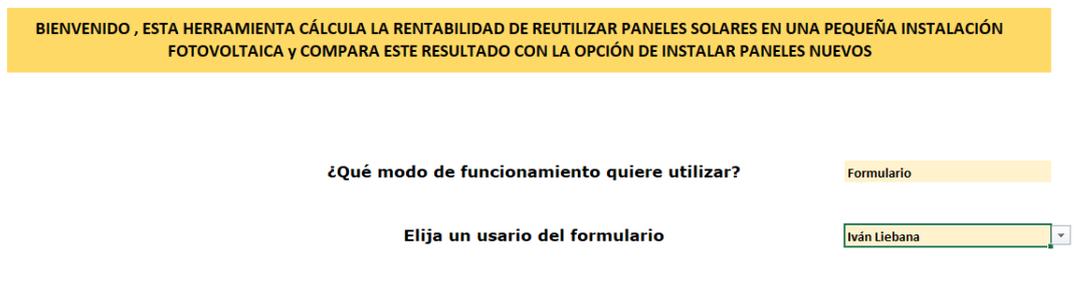


Ilustración 34: Selección Usuario formulario, Herramienta

Posteriormente se accederá a la hoja resumen a comprobar los resultados de ese usuario. Cuando se está utilizando el modo formulario no existe la opción del recálculo de la rentabilidad cambiando de tarifa.

9.4 HOJA CLIENTE

Estará dividida en 6 pequeños bloques:

9.4.1 Tipo de Instalación

Formada por un desplegable en el que podrá elegir el tipo de instalación que deseará el usuario.

- Autoconsumo Aislado: Instalación no conectada a la red eléctrica que se autoabastezca de electricidad.
- Autoconsumo Individual con Excedentes: Instalación de potencia inferior a 15kW que vierta excedentes a la red, y reciba una compensación por estos excedentes.
- Autoconsumo Individual sin Excedentes: Instalación de potencia inferior a 15kW que no vierta excedentes a la red

La recomendada será el autoconsumo con excedentes para mantener siempre conexión eléctrica y aparte reducir la factura compensando excedentes, aunque determinadas circunstancias podrán hacer al cliente decantarse por alguno de los otros dos tipos.

La vista será la siguiente:

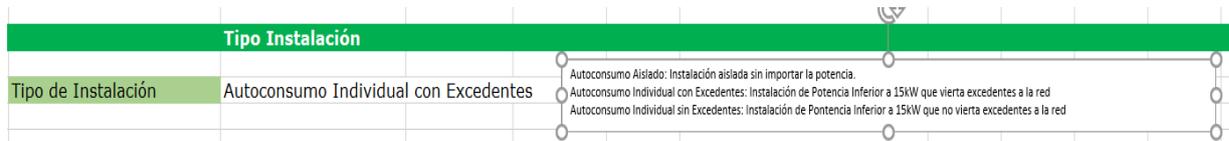


Ilustración 35: Tipo de Instalación. Hoja Cliente

9.4.2 Situación y Orientación

Aquí se encontrarán dos desplegables donde se elegirá tanto la provincia donde se realizará la instalación como la orientación de los paneles.



Ilustración 36: Situación y Orientación Herramienta

9.4.3 Tarifa Actual

La herramienta dispondrá de un desplegable donde se seleccionará la tarifa que tiene actualmente el cliente.

Según la selección que se haga en este desplegable la herramienta mostrará a rellenar únicamente los campos que formen esa tarifa. En todas las tarifas habrá que introducir el término de potencia y también la potencia contratada.

En cuanto al término de energía si la selección es 2.0 A, 2.0 DHA o 2.0 TD, únicamente habrá que introducir el precio fijo del kW/h, en cambio si la selección es una tarifa PVPC o de Precio Indexado, el usuario deberá introducir los costes que tuvo el kW/h para ese cliente en un periodo de facturación anterior.

La vista se verá de la siguiente manera:

Tarifa Actual			
	Seleccione su tarifa	Precio Indexado	
		Precio Enero €/kW	0,166
		Precio Febrero €/kW	0,155
		Precio Marzo €/kW	0,142
		Precio Abril €/kW	0,11
Término Potencia €/kW	0,17	Precio Mayo €/kW	0,087
		Precio Junio €/kW	0,105
Unidad de Tiempo (€/kW tiempo)	Día	Precio Julio €/kW	0,13
Término de Potencia kW	3	Precio Agosto €/kW	1,123
		Precio Septiembre €/kW	0,077
Cuota Mensual (€)	5	Precio Octubre €/kW	0,11
		Precio Noviembre €/kW	0,12
		Precio Diciembre €/kW	0,147

Ilustración 37: Ejemplo bloque Tarifa Actual en la Herramienta

9.4.4 Consumo Usuario

El usuario deberá responder si conoce o no su consumo eléctrico mensual en kW.

En el caso de que la respuesta sea afirmativa la herramienta habilitará las casillas donde se deberá introducir ese consumo mensual, de lo contrario, el usuario únicamente deberá introducir su consumo en mes, y el programa extrapolará este consumo utilizando el consumo de un hogar medio obtenido de la Red Eléctrica Española ([REE - CÓMO CONSUMIMOS ELECTRICIDAD](#) [REE - CÓMO CONSUMIMOS ELECTRICIDAD](#))

El consumo del usuario se proyectará en la aplicación de la siguiente manera:

Consumo Usuario	
¿Conoce su consumo Mensual?	Si
Porcentaje de la Electricidad que estima consumir durante las horas del día	50%
Introduce el consumo	
Consumo en Enero	410
Consumo en Febrero	383
Consumo en Marzo	335
Consumo en Abril	286
Consumo en Mayo	276
Consumo en Junio	267
Consumo en Julio	302
Consumo en Agosto	294
Consumo en Septiembre	305
Consumo en Octubre	348
Consumo en Noviembre	391
Consumo en Diciembre	404

Ilustración 38: Consumo Usuario Herramienta

9.4.5 Excedentes Factura

El usuario incluirá aquí el precio al que la comercializadora compensará el excedente. Si no se conoce el valor de este excedente se recomienda introducir el valor de 0,05 €/kW compensado, ya que es el precio que se suele encontrar en el mercado. [68]

También se podrá incluir un límite a la compensación. En la herramienta tendrá la siguiente presentación:

Excedente Factura	
Deducción por compensación	0,05 (€/kW)
Límite de compensación	

Ilustración 39: Excedentes Factura Herramienta

9.4.6 Años Inversión

Se incluirá el periodo sobre el que se quiere valorar la rentabilidad. Como se ha dicho en el apartado 8.8, la garantía de los paneles suele ofrecerse a 25 años, por lo que puede ser un buen margen temporal para valorar esta inversión.

9.5 HOJA BIPV

El BIPV dispondrá también de una hoja propia, donde se encargará de actualizar los datos que puedan variar con el tiempo, o datos que dependan de él, como el tipo de paneles que se instalan, si se realiza un recambio a los paneles, la degradación anual de estos paneles, los costes de la instalación, la existencia o no de una subvención, el coste del desechado de los paneles, las condiciones de la financiación o la tasa libre de riesgo.

Estos datos pueden ser los mismo para todos los clientes, o dependiendo de las vicisitudes de estos, el BIPV puede realizar determinadas variaciones, alguno de los parámetros enumerados anteriormente.

9.5.1 Paneles Disponibles

La vista donde el BIPV elegirá que paneles usar será la siguiente:

Paneles Disponibles				
		Potencia Pico	Precio	
Nuevos	Jinko Cheetah	330	144	Panel Nuevo en Uso Jinko Cheetah
	Jinko Policristalina	275	119	
	Jinko Tiger	525	200	
	Nuevos_4			
	Nuevos_5			
Usados	Prueba Usados			Panel Usado para el Cálculo Prueba Usados
	Usados_2	233	20	
	Usados_3			

Ilustración 40: Paneles Disponibles BIPV herramienta

En ella el BIPV incorporará los paneles disponibles en su catálogo, junto con la potencia pico de estos paneles y su precio unitario. Posteriormente en los desplegables de la derecha elegirá cuales utilizar con el cliente. Si el cliente buscase minimizar el volumen que ocupe la instalación se podría optar por incluir los de mayor potencia para reducir el número de paneles o si por el contrario se buscase reducir el precio de la instalación al máximo se recomendaría incluir los que dispongan de un menor precio unitario.

9.5.2 Recambio Paneles Usados

Como se dijo en el apartado 8.11.1. Se contempla la opción de un recambio de los paneles usados, siempre que el BIPV contemple esa opción. Este recambio está disponible para ser realizado tanto a la mitad del periodo de vida útil de la instalación como a los 10 años de comenzar esta, a criterio del BIPV. Además también se podrá

seleccionar que porcentaje de estos paneles se desea sustituir y el precio que tendrá esta operación para el cliente.

La disposición en la herramienta será la siguiente:

Recambio Paneles Usados	
Cuando	Mitad proyecto
Cuantos	50%
Coste Obra Civil	400 €

Ilustración 41: Recambio Paneles BIPV herramienta

9.5.3 Degradación

Se incluirá la pérdida de eficiencia que sufran los paneles, donde explica la siguiente imagen:

Degradación de los Paneles	
Degradación anual	0,54%

Ilustración 42: Degradación Hoja BIPV, herramienta

9.5.4 Costes Instalación

El BIPV deberá introducir los siguientes costes:

- Coste de la Obra Civil
- Coste del Inversor
- Coste de la Estructura Soportantes
- Otros: Aquí se podrían incluir materiales auxiliares u otros componentes de la instalación fotovoltaica que se utilicen de manera excepcional para un tipo de instalación, como pueden ser las baterías.
- Mantenimiento: Las instalaciones fotovoltaicas necesitan de un mantenimiento periódico para mantener los niveles de eficiencia. [69] Por ello si el encargado es el BIPV se incluirá este coste aquí. Este coste se distribuye anualmente por ello, si se quisiese incluir un seguro orientado a un posible fallo en algún panel que requiera una reparación o sustitución y que sea abonado año a año, también se podría incluir aquí.

Costes Instalación	
Obra Civil	700,00 €
Inversor	1.300,00 €
Estructura Soportante	85,00 €
Otros	
Mantenimiento	1.000,00 €
	Opcional

Ilustración 43: Costes Instalación BIPV herramienta

9.5.5 Subvención

En el momento actual no encontramos ninguna subvención aplicable a la instalación paneles solares, sin embargo, si apareciesen en un futuro, estas podrían incluirse aquí, tanto como para usados, como para nuevos.

En la herramienta aparece de la siguiente manera:

Importe		por kW instalado
Tipo de panel al que aplica	Usados	

Ilustración 44: Subvención BIPV herramienta

9.5.6 Otros

En España, como se dijo en el apartado 3.4 el reciclaje lo realiza Recyclia en colaboración con PV Cycle, y la recogida la realizan directamente de los puntos limpios, sin embargo, la aplicación estará abierta a poder introducir una pequeña tasa.

Por otro lado el BIPV podrá ofrecer un préstamo al cliente para financiar la instalación. Aquí en esta hoja se incluirán las condiciones de ese préstamo, tanto el tipo de interés como el tiempo de préstamo

También el BIPV podrá actualizar la tasa libre de riesgo si fuera necesario.

También podrá introducir los impuestos.

Estos datos se introducirán en sus respectivos huecos como indica la siguiente imagen:

Fin Vida Útil Paneles	
Tasa Desechado	0 (por panel)

Financiación	
Intereses	5%
A cuantos años	10

Tasa Libre de Riesgo	
Tasa Libre de Riesgo	0,50%

Tasas	
Impuesto Eléctrico	5,12%
IVA	21%

Ilustración 45: Otro , hoja BIPV herramienta

9.6 RESUMEN

La hoja de resumen estará compuesta de cuatro bloques. Uno primero donde se introduce la potencia que se buscará instalar en la aplicación, otro que calcula la rentabilidad de instalar paneles fotovoltaicos respecto a la situación actual del cliente, un tercer bloque en el que se calcula esta rentabilidad, pero con un cambio en la tarifa eléctrica, y finalmente otro donde se puede añadir una ayuda a la financiación de la instalación donde se incluirían los nuevos costes de instalación y se calcularía una nueva rentabilidad.

9.6.1 Instalación

Aquí el usuario introducirá la potencia máxima que desee instalar y el programa calculará el número de paneles que se necesitarán para alcanzar esa potencia, como se ve en la ilustración siguiente:

INSTALACIÓN		
POTENCIA INSTALADA (kW)	Número de paneles nuevos:	10
3	Número de paneles usados:	13

Ilustración 46: Hoja Resumen, Instalación, Herramienta

9.6.2 Rentabilidad manteniendo la misma tarifa eléctrica

En este bloque se verán reflejados tanto el coste de instalar los paneles, como el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno, de instalarlos, tanto de los paneles usados como de los paneles nuevos, como se ve en la siguiente ilustración:

RENTABILIDAD MANTENIENDO LA TARIFA ELÉCTRICA			
Tipo de Paneles:	Nuevos		Usados
VAN	2.635 €		3.099 €
TIR	4,92%		7,35%
Coste Instalación	6.193 €		5.670 €

Ilustración 47: Hoja Resumen, Rentabilidad Manteniendo la Tarifa

9.6.3 Rentabilidad cambiando la tarifa eléctrica

Posteriormente se rellenarán si se desean, los datos de una nueva tarifa eléctrica. A la hora del recálculo el BIPV podría incluir una de las tarifas mostradas anteriormente en el presente documento recomendablemente una 2.0 TD, la principal en el mercado libre, ya que permite disminuir el término de potencia en las horas del día (lo cual es sustituido por los paneles solares) y así aumentar la rentabilidad. Se

Capítulo 9: Funcionamiento de la Herramienta

indicará en el desplegable que se busca recalculer la rentabilidad, se rellenarán los datos correspondientes y la aplicación nos dará la nueva rentabilidad.

RENTABILIDAD ESCOGIENDO OTRA TARIFA ELÉCTRICA				
			¿Quiéres recalcularlo con un cambio de tarifa?	Si
	Nuevos	Usados		
VAN	12.169 €	12.747 €	Nueva Tarifa	2,0 TD
TIR	18,59%	24,63%		€/kW
				kW
			Término Potencia Pico	32,67266
			Término Potencia Valle	3,42436
			Unidad Temporal : €/kW tiempo	Año
			Términos Consumo	€/kWh
			Precio Hora Pico	0,2445
			Precio Hora Llano	0,1465
			Precio Hora Valle	0,098

Ilustración 48: Hoja Resumen, Rentabilidad Escogiendo Otra Tarifa, Herramienta

9.6.4 Préstamo

Se debe responder al desplegable de si se quiere acceder a financiación, y posteriormente introducir el valor del préstamo que se desea recibir, dando la aplicación una cuota para sufragar ese préstamo y un nuevo VAN, observándose en la aplicación de la siguiente manera:

PRÉSTAMO				
			¿ Desea Recibir un Préstamo para financiar la Instalación?	Si
Coste Instalación	Usados	5.670 €		
	Nuevos	6.193 €		
Condiciones Préstamo	Intereses	5%		
	Años	10		
Valor Préstamo	4.500 €			
Cuota	583 €			
Nuevo VAN	Usados	12.747 €		
	Nuevos	12.169 €		

Ilustración 49: Hoja Resumen, Préstamo, Herramienta

10 CASO PRÁCTICO

En este apartado se dará una muestra del funcionamiento de la Aplicación con unos datos reales, los de la propia vivienda del autor del trabajo.

Se calculará la rentabilidad que obtendría al instalar paneles en el tejado de su propia vivienda a través de sus datos de consumo.

10.1 HOJA DE CLIENTE

Como potencial cliente, la hoja destinada a cliente irá rellena con los siguientes datos:

10.1.1 Tipo de Instalación

Autoconsumo Individual con Excedentes.

Al ser una instalación en una zona residencial, se buscará mantener el suministro eléctrico en las horas en las que no hay luz solar, para proseguir con las actividades diarias, así como también, cuando se produzcan excedentes recibir una compensación en la factura.

10.1.2 Ubicación y Orientación

La instalación estará ubicada en la Provincia de Palencia, y debido a la orientación del tejado de la vivienda, esta se hará con orientación sur.

10.1.3 Tarifa de Acceso

En la tabla se muestra la tarifa del usuario con sus correspondientes términos de consumo y término de potencia.

TARIFA	2.0 A
PRECIO TÉRMINO DE POTENCIA	4, 23 €/mes
PRECIO TÉRMINO DE ENERGÍA	0,146 €/kW

Tabla 10: Tarifa Usuario

10.1.4 Consumo del Usuario

Se muestra el consumo en el hogar entre junio de 2020 y junio de 2021.

Mes	Consumo (kW)
Enero	410
Febrero	383
Marzo	335
Abril	286
Mayo	276
Junio	267
Julio	302
Agosto	294
Septiembre	305
Octubre	348
Noviembre	391
Diciembre	404

Tabla 11: Consumo del Usuario

Además, se supondrá que se produce un consumo del 50% en las horas del día, ya que, debido a que las diferentes actividades del día a día, impiden ver una tendencia a consumir más a unas horas u otras.

10.1.5 Excedente Factura

Se tomará como referencia un precio de 0,05 €/kW de excedentes. Además, la tarifa no tendrá incorporado ningún límite a estos excedentes, por tanto, se reducirá el valor del término de consumo hasta deducirlo por completo.

10.1.6 Tiempo Inversión

La inversión se analizará en un periodo 20 años.

10.1.7 Hoja de Cliente

La hoja de cliente quedará de la siguiente manera:

Tipo Instalación		
Tipo de Instalación	Autoconsumo Individual con Excedentes	
Situación y Orientación		
Provincia	Palencia	
Orientación	Sur	
Tarifa Actual		
Seleccione su tarifa	2.0A	
Precio Tarifa	0,141	
Término Potencia €/kW	4,23	
Unidad de Tiempo (€/kW tiem	Mes	
Consumo Persona		
¿Conoce su consumo Mensual?	Si	
Porcentaje de la Electricidad que estima consumir durante las horas del día	50%	
Introduce el consumo		
Consumo en Enero	410	
Consumo en Febrero	383	
Consumo en Marzo	335	
Consumo en Abril	286	
Consumo en Mayo	276	
Consumo en Junio	267	
Consumo en Julio	302	
Consumo en Agosto	294	
Consumo en Septiembre	305	
Consumo en Octubre	348	
Consumo en Noviembre	391	
Consumo en Diciembre	404	
Excedente Factura		
Deducción por compensación (€/kW)	0,05	(€/kW)
Límite de compensación		
Años Inversión		
¿A cuantos años quieres hacer la inversión?	20	

Tabla 12: Hoja Cliente

10.2 HOJA BIPV

La hoja del BIPV aparece configurada de la siguiente manera, con los datos explicados en apartados anteriores.

10.2.1 Paneles Utilizados

Paneles Disponibles				
		Potencia Pico	Precio	Dimensiones(cm2)
Nuevos	Jinko Cheetah	330	144	
	Jinko Policristalina	275	119	
	Jinko Tiger	525	200	
	Nuevos_4			
	Nuevos_5			
Usados	Prueba Usados	215	20	
	Usados_2			
	Usados_3			

Panel Nuevo en Uso: Jinko Cheetah

Panel Usado para el Cálculo: Prueba Usados

Tabla 13: Hoja BIPV selección paneles

10.2.2 Hoja BIPV

Se mantendrán los siguientes datos en la hoja del BIPV

- se sustituirán la mitad de los paneles usados a mitad del proyecto.
- Los paneles sufrirán un deterioro anual del 0,54%
- La obra civil tendrá un coste de 700€, el inversor de 1300€, la estructura soportante uno de 85€ por cada 2 paneles y se añaden 1000€ a modo de seguro de mantenimiento.
- No existirá subvención
- El desechado de los paneles no le supondrá ningún coste al usuario.
- Se pedirá un préstamo por importe de 1000€
- La tasa libre de riesgo es del 0,5 %.

Recambio Paneles Usados	
Cuando	Mitad proyecto
Cuantos	50%
Coste Obra Civil	400 €

Degradación de los Paneles	
Degradación anual	0,54%

Costes Instalación	
Obra Civil	700,00 €
Inversor	1.300,00 €
Estructura Soportante	85,00 €
Otros	Opcional
Mantenimiento	1.000,00 €

Subvención	
Importe	0 € por kW instalado
Tipo de panel al que aplica	Usados

Fin Vida Útil Paneles	
Tasa Desechado	0 (por panel)

Financiación	
Intereses	5%
A cuantos años	10

Tabla 14: Hoja BIPV

10.3 RESOLUCIÓN

Se verá en la hoja RESUMEN de la aplicación

Si se decide instalar una potencia de 2 kW:

INSTALACIÓN		
POTENCIA INSTALADA (kW)		
2	Número de paneles nuevos:	7
	Número de paneles usados:	9

RENTABILIDAD MANTENIENDO LA TARIFA ELÉCTRICA		
Tipo de Paneles:	Nuevos	Usados
VAN	4.722 €	4.851 €
TIR	9,35%	11,75%
Coste Instalación	5.633 €	5.380 €

Ilustración 50: Valoración rentabilidad instalando 2kW.

Resulta una rentabilidad del 9,35% instalando paneles nuevos, y del 11,75% instalando reutilizados, suponiendo un ahorro en las facturas de los próximos años de alrededor de 4800€, sin embargo, los costes de instalación de paneles usados son inferiores.

Si se decide instalar una potencia de 3 kW:

INSTALACION			
POTENCIA INSTALADA (kW)		Número de paneles nuevos:	10
	3	Número de paneles usados:	13
RENTABILIDAD MANTENIENDO LA TARIFA ELÉCTRICA			
Tipo de Paneles:		Nuevos	Usados
VAN		4.881 €	5.330 €
TIR		8,54%	11,92%
Coste Instalación		6.193 €	5.670 €

Ilustración 51: Valoración rentabilidad instalando 3kW

La rentabilidad disminuye ligeramente en el caso de los paneles nuevos, aumentando algo en el de los paneles usados, aunque debido a la realización de una superior inversión se consiguen unos insumos futuros algo superiores.

Si se decidiesen instalar 7 kW:

INSTALACION			
POTENCIA INSTALADA (kW)		Número de paneles nuevos:	22
	7	Número de paneles usados:	31
RENTABILIDAD MANTENIENDO LA TARIFA ELÉCTRICA			
Tipo de Paneles:		Nuevos	Usados
VAN		2.738 €	4.232 €
TIR		3,52%	7,52%
Coste Instalación		8.431 €	6.975 €

Ilustración 52: Valoración rentabilidad instalando 2kW

Se observa como el máximo de compensación de excedentes, marcado por el término de energía de la factura, impide aumentar más aún la rentabilidad, y los costes de los paneles hacen que incluso comience a disminuir esta, llegando a situarse únicamente en un 3,52% para los paneles nuevos (ya que tienen un coste superior a los usados)

10.4 CASO DE CAMBIO DE TARIFA

Se mostrarán ahora los datos, proponiendo un cambio de tarifa, adaptándose el usuario a una de las nuevas tarifas de acceso 2.0 TD.

Se tomará como referencia la TARIFA 2.0 TD, de la comercializadora ELECTRICA DE GUIXES ENERGÍA, SL, con los datos de la TABLA 7 del apartado 8.1.

Presentándose los datos de la siguiente manera:

¿Quiéres recalcarlo con un cambio de tarifa?			Si
Nueva Tarifa	2.0 TD		
	€/kW	kW	
Término Potencia Pico	32,673	1	
Término Potencia Valle	3,4244	3	
Unidad Temporal : €/kW tiempo	Año		
Términos Consumo	€/kWh		
Precio Hora Pico	0,2445		
Precio Hora Llano	0,1465		
Precio Hora Valle	0,098		

Ilustración 53: Recambio de Paneles configuración

Disminuyendo el valor del término de potencia pico, que podrá ser cubierto suficientemente con la potencia de los paneles solares instalados.

Los resultados que presenta el cambio de tarifa instalando una potencia de 3kW, que es la que mejores resultados ofreció en el caso anterior.

RENTABILIDAD ESCOGIENDO OTRA TARIFA ELÉCTRICA

	Nuevos	Usados
VAN	11.476 €	12.069 €
TIR	17,66%	23,46%

Ilustración 54: Resultados rentabilidad cambiando tarifa

Son bastante superiores, ya que el coste del término de potencia a lo largo de los años, que reducimos con los paneles, acaba suponiendo un verdadero ahorro a largo plazo. Se llega a alcanzar incluso una rentabilidad superior al 23% instalando paneles usados, por lo que se recomendaría el cambio de tarifa.

Además, se ofrece la posibilidad de recibir un préstamo para financiar la instalación. En este caso, se solicitará un préstamo de 4500€, para realizar la instalación de 3kW.

Las condiciones serán las elegidas por el prestamista, en este caso el BIPV. Se supondrán unos intereses del 5% anual y una duración de 10 años, siendo el coste de la instalación una entrada de 1170€ y 10 cuotas anuales de 583€.

PRÉSTAMO		
Coste Instalación	Usados	5.670 €
	Nuevos	6.193 €
Condiciones Préstamo	Intereses	5%
	Años	10
Valor Préstamo	4.500 €	
Cuota	583 €	
Nuevo VAN	Usados	12.069 €
	Nuevos	11.476 €

Ilustración 55: Resultado tras ejecución del préstamo

11 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las principales líneas detectadas por el autor de este documento, en las que se podría trabajar en el futuro son:

- Implementar la opción de realizar instalaciones, en las que el autoconsumo en vez de realizarse de manera individual se realizase para comunidades de personas, ya sea un bloque de edificios, una urbanización, etc. Estas instalaciones serían un tipo de autoconsumo colectivo y cuenta con una reglamentación algo diferente al autoconsumo individual.
- Las instalaciones que cubre la herramienta son únicamente, instalaciones menores de 15kW de potencia máxima instalada. Esto es debido a que cuando la potencia se encuentra entre los 15 y los 100 kW, el número de trámites burocráticos varía, lo cual es difícil de parametrizar. Además, este tipo de instalaciones serían principalmente las elegidas por industrias o comunidades de personas, y no se han incluido las primeras por la dificultad de parametrizar la tarifa eléctrica, y las segundas por la no implementación del autoconsumo colectivo.
- El trabajo ha sido orientado principalmente a instalaciones sin almacenamiento, sin embargo, hay instalaciones que pueden utilizar baterías para después verter el excedente a la red. Esta opción podría ser contemplada en un futuro también.
- La tarifa eléctrica industrial no ha sido incluida en el trabajo debido a su complejidad (presentando 6 términos de potencia y 6 términos de energía [70]), aunque podría ser interesante poder valorar la rentabilidad, pero para consumidores más grandes.
- Durante la realización del presente trabajo, se produjo un cambio en la composición de las tarifas eléctricas. Estas pueden ser susceptibles de cambio en un futuro también, por ello, podría investigarse la manera de poder personalizar las tarifas y mejorar la aplicación actualizando estas cuando cambien,
- Como se dijo en el presente documento, los paneles solares sufren también un grado de degradación u otro dependiendo de las condiciones climáticas, por lo que podría ser un factor a tener en cuenta también a la hora de analizar la rentabilidad de instalar módulos fotovoltaicos.
- Finalmente, como se dijo anteriormente, uno de los factores que más influye a la hora de instalar paneles fotovoltaicos, es el precio de la electricidad. Precios muy elevados pueden empujar a muchos clientes a instalar módulos fotovoltaicos en su vivienda. Estos precios altos también ayudarán a mejorar el valor de la rentabilidad. Sin embargo, el desconocimiento y la difícil previsión de una evolución futura de este mercado, hace que la proyección de la rentabilidad sea más incierta. Una buena línea de trabajo podría ser el trabajar con diferentes escenarios de un precio de la luz más elevado, otro constante y otro más reducido.

12 CONCLUSIONES

La energía fotovoltaica, es un sector relativamente nuevo, que está recibiendo un gran impulso en los últimos años. Además, la economía circular, está todavía en sus primeras fases de desarrollo, lo cual hace que los mercados de productos usados, y las técnicas de reciclaje (influidas por la manera de fabricar), estén en sus primeras fases. Estos dos factores hacen que muchas fuentes de información brillen por su ausencia y para el trabajo se necesite partir de numerosas suposiciones. La limitada regulación de algunos aspectos por su novedad hace también difícil encontrar puntos de partida a algunos temas.

A partir del planteamiento de la reutilización de los paneles solares, y la parametrización de muchas de las variables que influyen en su cálculo de la rentabilidad se extraen las siguientes conclusiones:

- Debido a la cantidad de módulos solares, que se prevé que se irán desechando en los próximos tiempos, es necesario intentar aumentar la vida útil de estos paneles, sin embargo, aún no existe un mercado que se encargue de la reutilización de los paneles solares.
- La rentabilidad de instalar módulos fotovoltaicos depende en gran medida del precio de la electricidad, que es la otra alternativa a la hora de consumir energía. Manteniéndose estos precios altos, el instalar paneles solares es probable que sea muy rentable.
- La entrada en vigor en el año 2021 de nuevas tarifas que permiten separar el término de potencia en diferentes tramos, lo cuál puede ser compensado con la entrada de otra fuente de energía como la fotovoltaica, ayuda a reducir aún más la tarifa.
- La compensación de excedentes provoca que, aunque el consumo del usuario se realice en horas nocturnas, donde no entran los paneles solares, esta compensación hace que el precio del término de energía pueda llegar a ser nulo, siempre que se haya vertido suficiente excedente.
- En base a la resolución del caso práctico, vemos que el realizar una instalación fotovoltaica es muy rentable, tanto con paneles nuevos, como con paneles usados, consiguiéndose grandes descuentos en la factura.
- Finalmente, la larga vida útil de los paneles hace la idea de reutilizar paneles muy atractiva, ya que, el precio más bajo de estos, unido a una eficiencia aceptable con el paso del tiempo, hacen de la idea de reutilizar paneles una solución muy buena económicamente, especialmente cuanto más potencia sea instalada.

13 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A.-G. J.D. Santos, «Projection of the photovoltaic waste in Spain until 2050,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 196, pp. 1613-1628, 2018.
- [2] E. MEZA, «pv-magazine,» 08 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.pv-magazine.com/2021/03/08/reusing-pv-modules-possibilities-and-challenges/>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [3] A. F. Muerza, «consumer.es,» 14 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/paneles-solares-asi-evolucionan.html>.
- [4] V. Mengual, «blog.solarnub.com,» 2021. [En línea]. Available: <https://blog.solarnub.com/paneles-solares-mas-eficientes-2021/>. [Último acceso: 08 Agosto 2021].
- [5] A. Greene, «greenrednecks.com,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20130708075717/http://greenrednecks.com/2009/05/09/solar-thermal-vs-photovoltaic-pv-%E2%80%93-which-should-you-choose/>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [6] J. Pearce, 01 Enero 2002. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/1484565/Photovoltaics_a_path_to_sustainable_futures. [Último acceso: 11 Julio 2021].
- [7] A.Labouret-M.Villoz, *Energía Solar Fotovoltaica Manual Práctico*, Madrid: Mundi-Prensa, 2008.
- [8] J. A. Moreno, «sfe-solar.com,» Sun Fields Europe, [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-nstalaciones-fotovoltaicas/>. [Último acceso: 4 Agosto 2021].
- [9] O. Planas, «solar-energía.net,» 29 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>. [Último acceso: 12 Mayo 2021].

- [1 D. G. Hidalgo, «NovoGenio,» 25 Octubre 2019. [En línea]. Available: 0] https://www.novogenio.com/blog_cast/estructuras-de-vidrio-laminado-con-eva-o-pvb.-an%C3%A1lisis-comparativo. [Último acceso: 13 Enero 2021].
- [1 O. Uriarte, «DiarioRenovables,» 06 Junio 2017. [En línea]. Available: 1] <https://www.diariorenovables.com/2017/06/tipos-de-encapsulamiento-en-celulas.html>.
- [1 J. A. Roca, «elperiodicodelaenergía.com,» 09 Marzo 2021. [En línea]. Available: 2] <https://elperiodicodelaenergía.com/una-fotovoltaica-imbatible-en-precios-multiplicara-su-capacidad-mundial-por-siete-hasta-2030/>. [Último acceso: 26 Julio 2021].
- [1 O. Planas, «solar-energía,» 28 Marzo 2020. [En línea]. Available: 3] solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos. [Último acceso: 2 Febero 2021].
- [1 Efficiency for Energy, «e4e-soluciones.com,» 26 Mayo 2020. [En línea]. Available: 4] <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/cuantos-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-hay>.
- [1 Helioesfera, «Helioesfera.com,» [En línea]. Available: 5] <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>. [Último acceso: 25 01 2021].
- [1 R. Germán, «SunFields Europe,» [En línea]. Available: 6] https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/#Tipos_de_placas_fotovoltaicas_segun_su_uso_o_aplicacion. [Último acceso: 3 Febrero 2020].
- [1 Tecnosol, «Blog Tecnosol,» 5 Abril 2017. [En línea]. Available: 7] <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>.
- [1 Clever Solar Devices, «cleversd.com,» [En línea]. Available: 8] <https://www.cleversd.com/es/blog/que-son-tan-importantes-curvas-iv>. [Último acceso: 20 08 2021].
- [1 F. Nevado, «SunFields Europe,» 6 Marzo 2018. [En línea]. Available: 9] <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/por-que-la-tecnologia-perc-se-20180306>.

- [2 International Renewable Energy Agency, «End of Life Management- Solar
0] Fotovoltaic Panels,» 2016.
- [2 F. , E. , S. B. , S. B. .. e. a. Meng. T, «Major challenges and opportunities in
1] silicon solar module,» 2020.
- [2 A.-G. J. P. B. J. I. , C. R. Lunardi M., «Comparative Life Cycle Assessment of End-
2] of-Life,» MPDI, 2018.
- [2 M. Ruiz Escudero, «Una mirada al futuro del reciclaje de paneles,» Madrid,
3] España, 2020.
- [2 Cambio Energético, «cambioenergetico.com,» [En línea]. Available:
4] <https://www.cambioenergetico.com/blog/reciclaje-placas-solares/>. [Último
acceso: 11 Agosto 2021].
- [2 El Periódico de la Energía, «elperiodicodelaenergia.com,» 24 Diciembre 2019.
5] [En línea]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/la-tecnologia-solar-se-ha-abaratado-un-90-desde-2010-ahora-que-cabe-esperar/>.
- [2 P. Mosquera, «energias-renovables.com,» 20 Enero 2021. [En línea]. Available:
6] <https://www.energias-renovables.com/eolica/a-la-eolica-y-la-solar-fotovoltaica-20210120>.
- [2 R. J. Maestre, «ElBlogSalmón,» 22 Noviembre 2018. [En línea]. Available:
7] <https://www.elblogsalmon.com/sectores/liberalizacion-mercado-electrico-fue-fracaso-estos-motivos>. [Último acceso: 05 Agosto 2021].
- [2 Minsiterio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, «energia.gob.es,»
8] [En línea]. Available: <https://energia.gob.es/electricidad/Paginas/sectorElectrico.aspx>. [Último
acceso: 06 Agosto 2021].
- [2 Energía y Sociedadq, «energiaysociedad.es,» [En línea]. Available:
9] <https://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-2-transporte-y-operacion-del-sistema/>. [Último acceso: 10 Agosto 2021].
- [3 Energía y Sociedad, «energiaysociedad.es,» [En línea]. Available:
0] <https://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-3-distribucion/>. [Último
acceso: 10 Agosto 2021].

- [3 RJ Consultores, «www.rjconsultores.es,» [En línea]. Available: 1] <https://www.rjconsultores.es/sabe-como-funciona-el-mercado-electrico-en-espana/>. [Último acceso: 5 Agosto 2021].
- [3 Energía y Sociedad, «energiaysociedad.es,» [En línea]. Available: 2] <https://www.energiaysociedad.es/manenergia/5-1-el-mercado-minorista-de-energia-electrica/>. [Último acceso: 12 08 2021].
- [3 S. F. MUNGUÍA, «Xataka,» 08 Enero 2021. [En línea]. Available: 3] <https://www.xataka.com/energia/como-funciona-mercado-electrico-que-a-pesar-que-precio-a-veces-llegue-a-cero- apenas-va-a-repercutir-nuestra-factura-1>.
- [3 Lucera, «lucera.es,» [En línea]. Available: <https://lucera.es/blog/costes-regulados-luz>. [Último acceso: 08 Julio 2021].
- [3 Facua, consumidores en Acción, «Evolución de las tarifas eléctricas,» 2013. 5]
- [3 M. M. Martínez, «deloitte.com,» Deloitte, [En línea]. Available: 6] <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/strategy/articles/descarbonizacion-eficiencia-energetica-electrificacion-nota-prensa.html>. [Último acceso: 08 Agosto 2021].
- [3 M. V. y. M. Cuesta, «abc.es,» ABC, 13 Septiembre 2018. [En línea]. Available: 7] https://www.abc.es/economia/abci-cierre-nucleares-y-carbon-encarecera-mas-recibo-201809122036_noticia.html. [Último acceso: 2 Julio 2021].
- [3 R.Casado, «expansion.com,» Expansión, 04 Mayo 2018. [En línea]. Available: 8] <https://www.expansion.com/empresas/energia/2018/05/04/5aeb5aa522601d2b378b45a1.html>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [3 R. Esteller, «eleconomista.es,» 18 Junio 2021. [En línea]. Available: 9] <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/11281010/06/21/La-electricidad-se-encarece-hasta-un-50-en-2022-por-el-precio-del-CO2.html>. [Último acceso: 4 Septiembre 2021].
- [4 E. Pérez, «xataka.com,» 02 Septiembre 2021. [En línea]. Available: 0] <https://www.xataka.com/energia/que-futuro-precio-luz-a-medio-plazo-tiene-mala-pinta-va-a-seguir-rompiendo-records-expertos>. [Último acceso: 05 Septiembre 2021].

- [4 Europa Press, 27 Julio 2021. [En línea]. Available:
1] <https://www.europapress.es/economia/noticia-endesa-preve-precio-alto-luz-mantenga-2023-20210727125903.html>. [Último acceso: 03 Septiembre 2021].
- [4 A. López-Paredes, *Valoración de proyectos de inversión*, 2017.
2]
- [4 Departamento de Organización de empresas de la Escuela de Ingenierías
3] Industriales de Valladolid, *TEMA 6: Valoración de Proyectos de Inversión*, 2017.
- [4 Fondos.com, «fondos.com,» [En línea]. Available:
4] <https://www.fondos.com/blog/tasa-libre-de-riesgo>. [Último acceso: 15 Julio 2021].
- [4 Raisin, «raising.es,» [En línea]. Available: [https://www.raisin.es/educacion-5\] financiera/que-es-la-tasa-libre-de-riesgo-y-como-se-calcula/](https://www.raisin.es/educacion-financiera/que-es-la-tasa-libre-de-riesgo-y-como-se-calcula/). [Último acceso: 15 07 2021].
- [4 EXPANSIÓN, «datosmacro.com,» 16 Julio 2021. [En línea]. Available:
6] <https://datosmacro.expansion.com/bono/espana?dr=2021-06>. [Último acceso: 16 Julio 2021].
- [4 J. M. López, «hipertextual.com,» 21 Noviembre 2020. [En línea]. Available:
7] <https://hipertextual.com/2020/11/appsheets-google-crear-aplicaciones-programar>. [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [4 Factor Energía, «factorenergia.com,» 24 Febrero 2017. [En línea]. Available:
8] <https://www.factorenergia.com/es/blog/factura-luz/termino-energia-y-termino-potencia/>. [Último acceso: 13 Julio 2021].
- [4 A. Bellot, «alcanzia.es,» 01 Abril 2019. [En línea]. Available:
9] <https://alcanzia.es/blog/que-son-peajes-de-acceso-de-electricidad/>. [Último acceso: 23 Julio 2021].
- [5 M. Á. Patiño, «Expansión,» 26 Enero 2019. [En línea]. Available:
0] <https://www.expansion.com/empresas/energia/2019/01/26/5c4b7041468aeb363e8b4588.html>. [Último acceso: 22 Junio 2021].
- [5 Gobierno de España, «boe.es,» BOE, 25 Junio 2021. [En línea]. Available:
1] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-10584.

- [5 Selectra, «tarifaluzhora.es,» [En línea]. Available:
2] <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas/2-0>. [Último acceso: 4
Junio 2021].
- [5 Selectra, «tarifaluz,» 01 Julio 2020. [En línea]. Available:
3] <https://tarifaluzhora.es/comparador/franja-horaria>.
- [5 J. R. Rallo, «Juan Ramón Rallo,» 13 Febrero 2021. [En línea]. Available:
4] <https://www.youtube.com/watch?v=7XV32CugaXY>.
- [5 Ministerio para la Transición Ecológica, «BOE.es,» [En línea]. Available:
5] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2019-5089>. [Último acceso: 07
07 2021].
- [5 SotySolar, «Sotysolar,» 01 Junio 2021. [En línea]. Available:
6] [https://sotysolar.es/blog/como-afecta-la-orientacion-de-tu-tejado-a-tu-
instalacion-de-placas-solares](https://sotysolar.es/blog/como-afecta-la-orientacion-de-tu-tejado-a-tu-instalacion-de-placas-solares). [Último acceso: 09 Julio 2021].
- [5 J. Insa, «monsolar,» [En línea]. Available:
7] <https://www.monsolar.com/blog/orientacion-placas-solares-este-oeste/>.
[Último acceso: 10 Julio 2021].
- [5 Diario Expansión, «expansión.com,» 08 Agosto 2014. [En línea]. Available:
8] <https://www.expansion.com/2014/08/08/ahorro/1407514104.html>. [Último
acceso: 17 Junio 2021].
- [5 TECNOSOLAB, [En línea]. Available: [https://tecnosolab.com/placas-solares-por-
9](https://tecnosolab.com/placas-solares-por-9) unidad. [Último acceso: 10 Julio 2021].
- [6 Damia Solar, [En línea]. Available: [https://www.damiasolar.com/productos/de-
0](https://www.damiasolar.com/productos/de-0) 180-a-330-watios-16. [Último acceso: 10 Julio 2021].
- [6 Alusín Solar, «alusínsolar solarstructures,» [En línea]. Available:
1] [https://alusinsolar.com/principales-componentes-de-una-instalacion-
fotovoltaica/](https://alusinsolar.com/principales-componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/). [Último acceso: 11 Julio 2021].
- [6 EfectoLed, «efectoled.com,» [En línea]. Available:
2] <https://www.efectoled.com/es/6280-comprar-contadores-bidireccionales>.
[Último acceso: 19 Julio 2021].

- [6 E. Rodríguez, «areatecnologia.com,» [En línea]. Available: 3] <https://www.areatecnologia.com/electricidad/instalacion-fotovoltaica.html>. [Último acceso: 18 Agosto 2021].
- [6 Cambio Energético, «www.cambioenergetico.com,» [En línea]. Available: 4] <https://www.cambioenergetico.com/53-protecciones-corriente-continua-y-alterna>. [Último acceso: 13 Agosto 2021].
- [6 Selectra, «selectra.es/autoconsumo,» [En línea]. Available: 5] <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [6 J. F. Weaver, «pv-magazine-latam.com,» 13 Diciembre 2018. [En línea]. 6] Available: <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/12/13/las-predicciones-de-la-vida-util-de-los-modulos-solares-son-cada-vez-mas-afinadas/>. [Último acceso: 03 Septiembre 2021].
- [6 J. Morales, «primaenergia.com,» 10 Noviembre 2020. [En línea]. Available: 7] <https://www.proximaenergia.com/eficiencia-y-degradacion-de-paneles-solares/>. [Último acceso: 27 Julio 2021].
- [6 C. G. Ruiz, «selectra.es,» Selectra, 24 Agosto 2021. [En línea]. Available: 8] <https://selectra.es/autoconsumo/info/tarifas>. [Último acceso: 29 Agosto 2021].
- [6 AutoSolar, «autosolar.es,» 13 Agosto 2021. [En línea]. Available: 9] <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-mantenimiento-requiere-un-panel-solar>. [Último acceso: 29 Agosto 2021].
- [7 Energigreen, «www.energigreen.com,» [En línea]. Available: 0] <https://www.energigreen.com/tarifas-electricidad/tarifa-3-Otd/>. [Último acceso: 31 Agosto 2021].
- [7 J. A. A. Lorenzo, «SunFields Europe,» [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>. [Último acceso: 20 01 2021].
- [7 J. A. Alonso Lorenzo, «sfe-solar.com,» Sun Fields Europe, [En línea]. Available: 2] <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>. [Último acceso: 16 Mayo 2021].

