



Universidad de Jaén

UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FIJOS Y CON SEGUIMIENTO

Alumno/a: Santana García, Alan Jesús

Tutor/a: Prof. D. Diego López Talavera
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Guadalajara, México, Diciembre 2021



Universidad de Jaén

UNIVERSIDAD DE JAÉN

Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS FIJOS Y CON SEGUIMIENTO.**

PRESENTAN:

Alan Jesús Santana García

DIRECTOR:

Diego López Talavera

Guadalajara, México, Diciembre 2021

GRACIAS

Al finalizar este trabajo tan arduo y lleno de dificultades es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo que lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que yo mismo he realizado, por eso mismo este trabajo está dedicado en especial a mí en lo personal, que fui quien puso todo el esfuerzo tanto físico como económico, obviamente existen personas que sin ellas no haya hecho realidad esto, es por eso que dedico este trabajo fin de master y el master entero a las siguientes personas:

A mi madre. - Sus esfuerzos son impresionante y su amor es para mí invaluable. Eres la persona más importante y la que siempre me ha educado de la mejor manera, me has brindado todo tu apoyo en especial cuando decidí mudarme a España para empezar este máster, desde el primer momento me alentó a irme y tomar este nuevo reto para mi vida, aplicando tus enseñanzas cada día, Mil gracias por ser y estar ahí para mí, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, que tu junto con mi padre han hecho de mi lo que soy. Muchos de mis logros se los debo a ustedes y este no sería una excepción.

A mis hermanos que son mi motor para seguir adelante, ya que por ser menores tengo la responsabilidad de guiarlos por el mejor camino, tengo muy claro que esta dedicación a ellos es sin duda un gran ejemplo a demostrarles y así sean mejor que yo.

No pueden faltar mis profesores y obviamente mis grandes compañeros, amigos y hermanos que no son de sangre, quienes conocí y se convirtieron en seres queridos para mí, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas, a todas aquellas personas que durante ese tiempo que estuve en un país nuevo para mi estuvieron a mi lado, de alguna manera, han sido clave en mi vida personal y profesional.

CONTENIDO

NOMENCLATURA.....	7
GLOSARIO	8
RESUMEN.....	9
PALABRAS CLAVE	9
ABSTRAC	10
KEYWORDS	10
CAPÍTULO 1	11
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	11
1.2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS SOLARES	11
1.3. FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES	12
2. ANTECEDENTES	13
2.1. RENTABILIDAD EN SEGUIMIENTO SOLAR.....	13
2.2. ESTUDIO DEL CASO	14
2.3. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
3.2. OBJETIVOS PARTICULARES	16
CAPÍTULO 2	17
1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.	17
1.1. VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR	18
1.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
1.3. SISTEMAS FIJOS Y CON SEGUIMIENTO	20
1.4. RENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	21
2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS	23
2.1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ECONÓMICO	23
3. SOFTWARES	27
3.1. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM	27
3.2. TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF PV SYSTEM	30
CAPÍTULO 3	32
1. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE SISTEMAS SOLARES.....	32
1.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO FIJO CON ÁNGULO ÓPTIMO	32
1.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO A UN EJE CON 0°	38
1.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO A 2 EJES.....	41
ANEXO.	45
• SISTEMA FIJO, ÁNGULO ÓPTIMO	46
• SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR A 1 EJE 0°	50
• SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR A 2 EJES, ÁNGULO ÓPTIMO.....	54
CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE TRABAJO	59
BIBLIOGRAFIA.....	61

Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. CRECIMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE	15
ILUSTRACIÓN 2 CAPACIDAD INSTALADA.....	15
ILUSTRACIÓN 3 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	17
ILUSTRACIÓN 4 PANEL SOLAR FIJO.....	20
ILUSTRACIÓN 5 SISTEMA CON MOVIMIENTO 1 EJE	21
ILUSTRACIÓN 6 SISTEMA CON MOVIMIENTO 2 EJES.....	21
ILUSTRACIÓN 7 CURVA DE PRECIOS DE PANELES SOLARES.....	22
ILUSTRACIÓN 8 VALOR ACTUAL NETO.....	23
ILUSTRACIÓN 9 PROCESO DE FACTIBILIDAD	26
ILUSTRACIÓN 10 PROCESO DE INVERSIÓN.....	27
ILUSTRACIÓN 11 VENTANA PRINCIPAL DE PVGIS	27
ILUSTRACIÓN 12 VENTANA DE INGRESO DE DATOS	28
ILUSTRACIÓN 13 VENTANA DE RESULTADOS.....	29
ILUSTRACIÓN 14 SOFTWARE TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF PV SYSTEMS.....	30
ILUSTRACIÓN 15 EJEMPLO PARÁMETROS DE ENTRADA	30
ILUSTRACIÓN 16 MENÚ DE CONTROLES	31
ILUSTRACIÓN 17 RESULTADOS	31
ILUSTRACIÓN 18 PARÁMETROS DE S. FIJO MÉXICO	33
ILUSTRACIÓN 19 COSTE DE INSTALACIÓN	34
ILUSTRACIÓN 20 RESULTADOS DEL S. FIJO MÉXICO	36
ILUSTRACIÓN 21 PARÁMETROS S. 1 EJE MÉXICO	39
ILUSTRACIÓN 22 RESULTADOS S. DE 1 EJE MÉXICO	39
ILUSTRACIÓN 23 PARÁMETROS S. 2 EJES MÉXICO.....	42
ILUSTRACIÓN 24 RESULTADOS S. A 2 EJES MÉXICO	43
ILUSTRACIÓN 25 PARÁMETROS S. FIJO COLOMBIA	46
ILUSTRACIÓN 26 PARÁMETROS S. 1 EJE COLOMBIA.....	50
ILUSTRACIÓN 27 PARÁMETROS S. 1 EJE ECUADOR	50
ILUSTRACIÓN 28 PARÁMETROS S. 1 EJE BRASIL	50
ILUSTRACIÓN 29 PARÁMETROS S. 1 EJE PERÚ	50
ILUSTRACIÓN 30 PARÁMETROS S. 1 EJE ESPAÑA.....	50
ILUSTRACIÓN 31 PARÁMETROS S. 1 EJE EUA.....	50
ILUSTRACIÓN 32 PARÁMETROS S. 1 EJE ITALIA	51
ILUSTRACIÓN 33 PARÁMETROS S. 2 EJES ECUADOR.....	54
ILUSTRACIÓN 34 PARÁMETROS S. 2 EJES COLOMBIA	54
ILUSTRACIÓN 35 PARÁMETROS S. 2 EJES BRASIL.....	54
ILUSTRACIÓN 36 PARÁMETROS S. 2 EJES PERÚ.....	54
ILUSTRACIÓN 37 PARÁMETROS S. 2 EJES ESPAÑA	54
ILUSTRACIÓN 38 PARÁMETROS S. 2 EJES EUA	54
ILUSTRACIÓN 39 PARÁMETROS S. 2 EJES ITALIA.....	55

Tablas

TABLA 1 VALORES EN MÁLAGA	29
TABLA 2 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA FIJO EN MÉXICO	32
TABLA 3 PARÁMETROS PROMEDIO, SISTEMA FIJO EN MÉXICO	33
TABLA 4 PARÁMETROS TÉCNICO ECONÓMICOS DE MÉXICO	33
TABLA 5 NET CASH BALANCE	37
TABLA 6 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA 1 EJE EN MÉXICO	38
TABLA 7 PARÁMETROS PROMEDIO, SISTEMA 1 EJE EN MÉXICO	38
TABLA 8 PARÁMETROS TÉCNICOS FINANCIEROS DE MÉXICO	38
TABLA 9 NET CASH BALANCE	40
TABLA 10 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA 2 EJES EN MÉXICO	41
TABLA 11 RESULTADOS PROMEDIO, SISTEMA 2 EJES EN MÉXICO	42
TABLA 12 RESULTADOS SISTEMAS FIJOS DE PAÍSES EN ESTUDIO	47
TABLA 13 RESULTADOS SISTEMAS A 1 EJE DE PAÍSES EN ESTUDIO	51
TABLA 14 NET CASH BALANCE A 1 EJE	51
TABLA 15 INTERNAL RATE OF RETURN A 1 EJE	51
TABLA 16 PROFITABILITY INDEX MODIFIED A 1 EJE	52
TABLA 17 PROFITABILITY INDEX A 1 EJE	52
TABLA 18 WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL A 1 EJE	52
TABLA 19 DISCOUNTED PAYBACK TIME A 1 EJE	52
TABLA 20 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY A 1 EJE	52
TABLA 21 NET CASH BALANCE A 1 EJE	53
TABLA 22 RESULTADOS SISTEMAS A 2 EJES DE PAÍSES EN ESTUDIO	55
TABLA 23 INTERNAL RATE OF RETURN A 2 EJES	55
TABLA 24 NET CASH BALANCE A 2 EJES	55
TABLA 25 PROFITABILITY INDEX MODIFIED A 2 EJES	56
TABLA 26 PROFITABILITY INDEX A 2 EJES	56
TABLA 28 DISCOUNTED PAYBACK TIME A 2 EJES	56
TABLA 27 WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL A 2 EJES	56
TABLA 29 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY A 2 EJES	56
TABLA 30 NET CASH BALANCE A 2 EJES	57

NOMENCLATURA

°C	Grado Celsius
AIE	Agencia Internacional de la Energía
ANES	Asociación Nacional de Energía Solar
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente continua
CELS	Certificados de Energías Limpias
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEM	Condiciones estándar de medida (STC)
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
FV	Fotovoltaico
GEI	Gases de efecto invernadero
h	Hora
kW	Kilovatio
kWp	Kilovatio pico
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
PR	Performance Ratio (Coeficiente de rendimiento)
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SFV	Solar fotovoltaica
TONC	Temperatura de Operación Nominal de la Célula
Ud	Unidad
V	Voltaje o Tensión
W/m ²	Vatio por metro cuadrado
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de rentabilidad
DPBT	Plazo de recuperación con descuento
LCOE	Coste Normalizado de la electricidad
i	Tasa de descuento real
g	Tasa de inflación
d	Tasa de descuento nominal
IR	Índice de rentabilidad
VAC	Valor actual del coste del sistema
SCI	Índice de autoconsumo
NCB	Saldo neto de caja
Nis	Amortización subsidiada en años
Xis	Porcentaje de financiación con subvención
Xd	Porcentaje del coste total del sistema que representa la depreciación del PV

GLOSARIO

Combustible fósil	Material formado por una mezcla de compuestos orgánicos, que se extrae del subsuelo, con el fin de ser utilizado como combustible en los sistemas de producción de electricidad. Los más importantes son el carbón, el petróleo y el gas natural.
Efecto fotovoltaico	Propiedad que tienen determinados materiales de producir una corriente eléctrica cuando incide una radiación lumínica sobre ellos.
Energía renovable	Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales
Energía fósil	Aquella que procede de la biomasa producida en eras pasadas, que ha sufrido enterramiento y tras él, procesos de transformación, por aumento de presión y temperatura, hasta la formación de sustancias de gran contenido energético
Horas equivalentes	Brinda una normalización entre la energía AC producida por el sistema y el tamaño del generador FV expresado en kWp en CEM
Performance ratio	Coeficiente de rendimiento expresa la relación del rendimiento energético real con respecto al rendimiento energético teóricamente posible. Este coeficiente es prácticamente independiente de la orientación de una instalación fotovoltaica y de la irradiación solar que incide sobre ella.

RESUMEN

A escala global, el uso de las fuentes renovables para la generación eficiente de energía eléctrica utilizando paneles fotovoltaicos, viene aumentando debido al incremento de las necesidades energéticas, la volatilidad de precios de los combustibles fósiles y los problemas ambientales ocasionados por lo mismo. En este estudio se realiza un análisis técnico-económico de pequeños sistemas fotovoltaicos, la óptima instalación de éstos, juega un papel importante, ya que mejora la eficiencia del mismo. Para encontrar la salida máxima de un panel fotovoltaico, se pueden implementar sistemas de control de posicionamiento (seguidor solar) aplicando una técnica o un algoritmo de búsqueda del punto máximo de energía para mejorar la eficiencia del sistema. El objetivo es determinar la eficiencia de estos sistemas y compararlas entre ellos. El análisis se realiza a sistemas fotovoltaicos que funcionan conectados a la red. Para la adquisición de la energía generada por cada uno de los sistemas de paneles solares, se estudiaron diferentes áreas geográficas mediante un software, PVGIS (Photovoltaic geographical information system), el cual facilita la obtención de los parámetros y configuración óptima, al igual que el software utilizado para obtener los resultados técnico económicos de los sistemas (Techno-Economic análisis of PV systems). Después de haber realizado los estudios, se confrontaron los resultados de estos sistemas.

Los resultados muestran que la eficiencia de los diferentes sistemas es muy variable, tanto de un fijo a pasar a uno donde podemos agregar mecanismos de seguimiento solar, aumenta la producción de energía. El resultado muestra que los sistemas fijos y de un eje son competitivos en costos con respecto a las tarifas eléctricas, mientras que los de dos ejes no son tan aconsejables. La diferencia entre los sistemas es notoria en el LCOE hasta 213%, 240% y 260% para un sistema fijo, el sistema a un eje y el sistema a dos ejes.

Palabras Clave

Viabilidad económica y financiera, coste de generación eléctrica.

ABSTRAC

On a global scale, the use of renewable sources for the efficient generation of electricity using photovoltaic panels has been increasing due to the increase in energy needs, the volatility of fossil fuel prices and the environmental problems caused by the same. In this study, a technical-economic analysis of small photovoltaic systems is carried out, their optimal installation plays an important role, since it improves their efficiency. To find the maximum output of a photovoltaic panel, positioning control systems (solar tracker) can be implemented by applying a technique or an algorithm to search for the maximum energy point to improve the efficiency of the system. The objective is to determine the efficiency of these systems and to compare them between them. The analysis is carried out on photovoltaic systems that work connected to the grid. For the acquisition of the energy generated by each one of the solar panel systems, different geographical areas were studied using a software, PVGIS (Photovoltaic geographical information system), which facilitates obtaining the parameters and optimal configuration, as well as the software used to obtain the technical and economic results of the systems (Techno-Economic analysis of PV systems). After having carried out the studies, the results of these systems were compared.

The results show that the efficiency of the different systems is highly variable, both from a fixed one to one where we can add solar monitoring mechanisms, energy production increases. The result shows that fixed and single-axis systems are cost competitive with respect to electricity rates, while two-axis systems are not so desirable. The difference is noticeable in the LCOE up to 213%, 240% and 260% for fixed, one axis and two axes.

Keywords

Economic and financial viability, cost of electricity generation.

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Estructura del documento

Este trabajo fin de máster está enfocado a estudiar la competitividad en costes de generación eléctrica y de la rentabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos fijos y con seguimiento, se empezará por una pequeña introducción a este tipo de energías persiguiendo familiarizar al lector con su filosofía y funcionamiento, lo cual consideramos clave para poder abordar un estudio más a profundidad, seguido de un vistazo al estado actual del sector técnico-económico, se estudiará el mercado desde el ámbito internacional, como costo de capital, valor actual neto, retorno de la inversión y coste normalizado de la electricidad, para después pasar a la evaluación de instalaciones fotovoltaicas en diferentes áreas geográficas y asimismo tratar de dar claridad en materia de rentabilidad aportando los resultados obtenidos con mayor viabilidad económica de las mismas para llegar a una conclusión final de cuál es la que nos interesa en varios escenarios posibles para los que se busca la mejor eficiencia.

1.2. Introducción a los sistemas solares

La tecnología fotovoltaica (FV) ha alcanzado unos ritmos de crecimiento inimaginables, debido a los acontecimientos que se presentan en la actualidad, provocados por el calentamiento global, el cual se percibe en aumento, este hecho es innegable. Sin embargo, se puede analizar de la siguiente manera.

Se reconoce que la electricidad es un elemento importante para el desarrollo socioeconómico rural y urbano, debido a la demanda de servicio que permite ofrecer, como el bombeo de agua potable, elaboración de alimentos y lo más importante la iluminación. Sabemos que el desarrollo socioeconómico está directamente relacionado con la cantidad y calidad de la energía eléctrica, es por esta razón que las por eso que se ve un gran estancamiento en las poblaciones rurales donde en algunas continúan utilizando energías tradicionales como (leña, residuos de biomasa, tracciones humanas y animal) los siguen siendo los principales recursos energéticos disponibles para millones de familias en el mundo entero.

Al igual por el lado negativo se cuenta con escasez de recursos, demanda energética, el consumo final anual a nivel mundial va en aumento. Además, para el ámbito climático, las emisiones de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) y los gases industriales fluorados (HFC, PFC y SF₆) también han ido en incremento. Esto ha ido motivando a la búsqueda de nuevas alternativas energéticas limpias y eficientes, una de ellas es la energía solar que ha cobrado gran importancia a nivel mundial.

Con la referencia de lo anterior, hoy en día se tiene como finalidad aprovechar la energía solar, es necesario buscar mecanismos que maximicen la rentabilidad económica de estos sistemas, especialmente cuando la inflación económica y la competitividad con otras tecnologías de generación renovable ha ido en disminución. Surge entonces la idea de realizar el estudio de diferentes mecanismos del sistema solar para aprovechar la máxima radiación y disminuir la contaminación ocasionada por las fuentes de energía fósil (carbón, petróleo, gas natural).

Debido al crecimiento tecnológico con el que cuentan los sistemas solares, se afronta el reto de competir en costos contra los combustibles fósiles, dado a que los países tropicales poseen un alto nivel de radiación solar, que es donde la explotación de este tipo de energía es basta, y sabiendo que la energía solar puede ser captada por igual, como ya se mencionó antes el presente trabajo fin de máster está orientado a realizar la evaluación de la competitividad en costes de generación eléctrica y de la rentabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos fijos y con seguimiento, en diferentes localizaciones y escenarios económicos, de modo que los resultados de aprovechamiento energético serán variables.

Adicional a lo anterior, las fuentes de energía renovable con mayor potencia para inversión es la solar fotovoltaica, Destacando que para el sector electricidad la SFV ha incrementado hasta el 2017 un 50% reduciendo los precios de instalación considerablemente, esto a cuánto instalaciones fijas. Es así como surge el tema de analizar los diferentes tipos de escenarios económicos con los respectivos sistemas de instalación (fijos y con seguimiento).

1.3. Funcionamiento de los paneles

La operación de un panel solar se basa en el efecto fotoeléctrico. Este e señala que si un fotón incide sobre un material semiconductor que forme una unión P-N posee la longitud de onda, y por ende la energía suficiente, provocará la generación de un par electrón hueco, por ello se generará una diferencia de potencial, que a su vez produce una corriente eléctrica. Los paneles solares comerciales se componen de varias líneas

de células en paralelo. Cada una de estas líneas busca sumar los pequeños potenciales que proporciona cada una para que el voltaje final del panel sea de un valor más elevado, típicamente 12 o 24 voltios.

A este funcionamiento básico se le han de añadir más cosas para que sea funcional y aumente su eficiencia, como una capa anti-reflectante, contactos metálicos con la forma más adecuada, etc. También se añaden componentes para aumentar la seguridad como los diodos de bypass y bloqueo que sirven para evitar que el panel consuma cuando no está produciendo y para reducir el riesgo de que se averíe por problemas sobre todo con sombras parciales.

Actualmente la mayoría de paneles solares son de silicio cristalino: monocristalino o policristalino. No obstante, se está investigando el aumentar la eficiencia con múltiples capas que capten más proporción del espectro que reciben. También se está experimentando con nuevos materiales totalmente diferentes, aunque estas tecnologías aún están en una fase muy precoz.

2. Antecedentes

2.1. Rentabilidad en seguimiento solar

Un seguidor solar es un dispositivo mecánico que tiene la capacidad de orientar los paneles solares de forma que estos sean lo más perpendicular posible a los rayos solares, teniendo un seguimiento constante desde la hora que sale el sol por el este hasta el oeste en la puesta.

Los seguidores solares hoy en día existen de varios tipos:

En dos ejes (2x): En este tipo de sistema FV los módulos se montan sobre un sistema de seguimiento que mueve los módulos siguiendo la dirección este-oeste y los inclina un determinado ángulo respecto al suelo. De este modo los módulos siempre están enfrentados al sol (la normal al plano es paralela a la dirección de los rayos del sol). Se debe tener en cuenta que el cálculo considera que los módulos no emplean sistemas de concentración de radiación solar directa, sino que reciben toda la radiación que les llega, tanto directamente desde el sol como desde el resto de la bóveda celeste.

En un eje azimutal (1xa): En este tipo de sistema FV los módulos se montan sobre un eje que presenta un determinado ángulo respecto al suelo y sigue la dirección norte-sur. La superficie de los módulos se considera paralela al eje de rotación. El eje gira durante el día para que el ángulo de incidencia entre los rayos del sol y la normal del plano sea el

menor posible (esto significa que el plano no gira a velocidad constante a lo largo del día). El ángulo del eje de rotación con respecto al suelo puede ser definido por el usuario, o bien esta herramienta de PVGIS puede calcular el ángulo óptimo para el emplazamiento seleccionado.

El costo y la energía generada depende del tipo de seguidor, en general se puede admitir que el seguimiento azimutal recoge de un 10% a un 20%, estos en algunos casos pueden llegar hasta el 25%. En los seguidores a dos ejes existen variaciones de entre el 30% y el 45% de incremento de producción. Esto frente a las instalaciones fijas, así también se reflejan variaciones importantes en el coste de los equipos e instalaciones.

2.2. Estudio del caso

La ubicación geográfica del país en relación al sol se puede considerar un factor de alta importancia, debido a la luz solar recibida ya sea constante o con variaciones importantes causadas por los diferentes regímenes climáticos, además los rayos solares son recibidos de diferente manera al igual depende el ángulo definido en cada sistema para cada uno de los diferentes países.

2.3. Justificación

Este proyecto tiene la intención de darle la importancia y el gran cuidado que tiene este tipo de energía. Actualmente es demasiada la contaminación que existe a base de combustiones fósiles.

Implementar paneles solares que generen energía a partir de radiación solar implica un gran avance para nuestra sociedad, es dejar atrás la generación del exceso de gases de invernadero que afectan directamente a la atmósfera e indirectamente a todos los seres vivos del planeta.

La AEI (Agencia Internacional de la Energía) nos dice que la producción de energía para calefacción, transporte y electricidad va en incremento como se muestra en la siguiente figura (*Ilustración 1*). Sin embargo, la mayor producción y ascenso se verá reflejado en el uso de energía renovable para electricidad que va desde el 20% en el año 2012 al casi 30% para el año 2023.

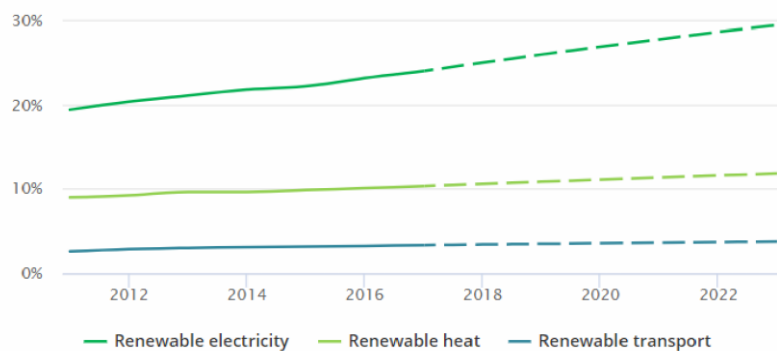


ILUSTRACIÓN 1. CRECIMIENTO DE ENERGÍA RENOVABLE

Según la AIE (Agencia Internacional de la Energía) y observando la siguiente figura (*Ilustración 2*) la fotovoltaica dominará el crecimiento de capacidad instalada en los siguientes 6 años con un aumento de 575 GW que serán operativos en ese periodo. El crecimiento en los proyectos de servicios públicos representa el 55%, mientras que el crecimiento de la capacidad de generación distribuida se acelera.

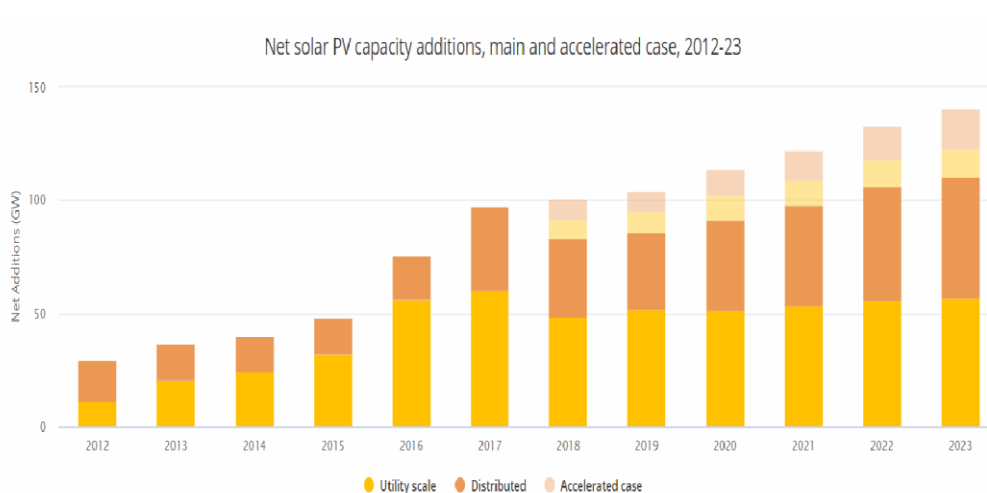


ILUSTRACIÓN 2 CAPACIDAD INSTALADA

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivos la evaluación de la competitividad en costes de generación eléctrica y de la rentabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos fijos y con seguimiento, en diferentes localizaciones y escenarios económicos.

3.2. Objetivos Particulares

- I. Analizar datos de coste que se aplicarán para calcular los datos económicos de los sistemas solares fijos y con seguimiento en diferentes países.
- II. Calcular mediante un software (technoEconomicAnalysisPVS) los diferentes resultados económicos y financieros.
- III. Examinar los resultados de simulación para saber dónde se obtendrá mayor rentabilidad.
- IV. Comparar producción eléctrica entre sistemas fijos, con seguimiento a dos y a un eje horizontal.

Capítulo 2

1. Energía Solar Fotovoltaica.

Una instalación solar fotovoltaica es, por lo general, una pequeña central de producción de energía eléctrica, que inyecta la corriente producida a la red eléctrica. En función de las características de la corriente que circula por los distintos componentes podemos dividir la instalación en dos partes: corriente continua y corriente alterna.

Como síntesis de funcionamiento, podemos decir que los módulos fotovoltaicos absorben la radiación solar y la transforman en corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica generada es continua, por lo que es necesario un inversor o conjunto de inversores que transforman la corriente continua en alterna, ya sea para el autoconsumo dentro de la red interior del usuario, o para el vertido a la red de la compañía eléctrica en el caso en que la producción se dedique íntegramente a la venta en el mercado mayorista, como se muestra una conexión a la red en la *ilustración 3*.

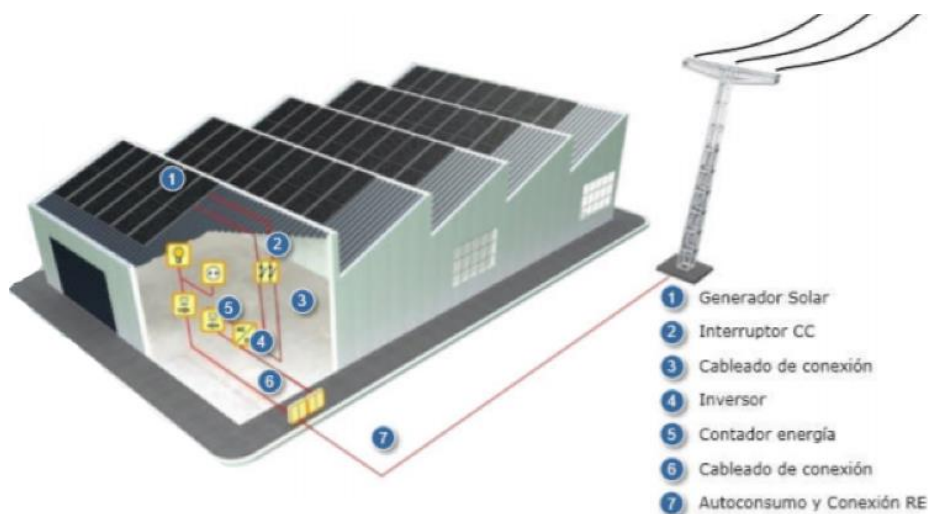


ILUSTRACIÓN 3 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Para el funcionamiento de una instalación fotovoltaica, son 4 los principales componentes a dimensionar y tener en cuenta:

1. Campo Solar. Es la suma de los módulos fotovoltaicos conectados para conseguir una potencia pico de la instalación determinada.
2. Cableado. Entre los módulos, entre el campo de paneles y el inversor, y entre el inversor y el punto de conexión con la red eléctrica.

3. Inversor. Define la potencia nominal del sistema. Transforma la corriente continua generada por los módulos en corriente alterna para introducirla en la red.
4. Monitorización. Registra el funcionamiento de los principales componentes de la instalación solar, permite detectar fallos, analizar rendimiento, etc.

La producción de un proyecto fotovoltaico no solo depende de múltiples componentes como los ya antes mencionados, sino también de variables adicionales a la radiación solar: meteorológicas, principalmente temperatura y magnitud del viento; condiciones topográficas y ambientales del emplazamiento, como presencia de polvo en suspensión y de sombras; y características técnicas del proyecto, esto es, tipo de arreglo (nivel de inclinación y tipo de seguimiento) y eficiencia de los distintos componentes.

1.1. Ventajas de la energía solar

La energía solar es inagotable, al contrario que las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo, o la energía nuclear, cuyas reservas son infinitas, la energía del sol está disponible en todo el mundo y se adapta a los ciclos naturales (por eso se denominan renovables). Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el futuro.

La energía solar no emite gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye al calentamiento global. De hecho, se muestra como una de las tecnologías renovables más eficientes de la lucha contra el cambio climático.

De todas estas ventajas, es importante destacar que la energía solar no emite sustancias tóxicas ni contaminantes del aire, que puede ser muy perjudiciales para el medio ambiente y el ser humano. Las sustancias tóxicas pueden acidificar los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los contaminantes del aire pueden desencadenar enfermedades, como cáncer o enfermedades respiratorias. La energía solar no genera residuos ni contaminación del agua, un factor muy importante teniendo en cuenta la escasez del agua.

Además, la energía solar es una energía autóctona, que contribuye a reducir las importaciones energéticas, son sistemas sencillos y fáciles de instalar, no requieren de mucho mantenimiento, por ende, tiende a crear riqueza de empleo de forma local. Por todo ello, la producción de electricidad mediante energía solar y su uso de forma

eficiente contribuye al desarrollo sostenible evitando un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso.

1.2. Sistemas Fotovoltaicos

Existen básicamente los siguientes tipos de sistemas fotovoltaicos (FV):

- **Sistemas aislados:** son sistemas no conectados a la red eléctrica central. A su vez se subdividen en sistemas que operan en corriente continua (CC) y aquellos que operan en corriente alterna (CA). Solo los muy pequeños (con hasta unos 200 Watts en paneles) se justifican operen en CC. En general tienen un banco de baterías para acumular la energía captada durante el día para ser utilizada en la noche. No tienen baterías sistemas tales como bombeo de agua.
- **Sistemas conectados a red:** se acoplan a la red. Por lo tanto, al final deben tener un inversor para generar la corriente alterna. A su vez se subdividen en aquellos que se conectan a la red y no tienen acumulación (baterías) y los que se conectan a red y sí tienen acumulación. Estos últimos proporcionan continuidad de energía al existir cortes en la red eléctrica.

Los módulos (que generan en corriente continua) se conectan a una unidad genérica que se llama “Control y Acondicionamiento de Potencia”. La misma abastece la carga y también maneja el sistema de acumulación de energía (las baterías).

Para un sistema en corriente continua, el sistema de control es un controlador de carga que tiene por funciones evitar la sobrecarga de baterías, así como su descarga excesiva. El mismo controlador abastece la carga que estará en CC.

Existen dos tipos de controladores de carga: Los engrapados, que son los más antiguos y usualmente son más baratos. Pero implican mayores pérdidas de energía. Los más modernos se llaman: Maximum Power Point Tracking (MPPT) o controladores de seguimiento de máximo punto de potencia. Tienen un rendimiento bastante superior. Pero eran más caros hasta hace muy poco. Hoy ya se encuentran integrados a inversores de tamaño adecuado a un costo muy razonable.

Para un sistema aislado que tiene cargas en CA, el controlador de carga es similar a los anteriores, pero el mismo abastece un inversor. Este es un dispositivo electrónico que genera corriente alterna. Los buenos generan una señal sinusoidal. En general no utilizar inversores con señal sinusoidal modificada.

Para un sistema conectado a red, el inversor es especial. En efecto, genera corriente alterna con señal sinusoidal, pero además es capaz de sincronizarse con la red. Esto implica que es capaz de alimentar perfectamente a la red externa. Y si la red externa se corta, entonces el sistema se detiene por razones de seguridad, para un sistema conectable a red con capacidad de acumulación, el inversor tiene más características de control. Si la red externa se cae, el sistema se aísla de la red y comienza a operar en la isla. Es decir, abastece las cargas internas a partir de sus baterías, pero no alimenta la red externa. Cuando la energía externa retorna, se puede reconectar a la red de manera manual o automática.

La ventaja de los sistemas conectados a red es que uno evita (o disminuye mucho) los costos de las baterías, las que son un elemento caro en el sistema. Además, cuando están conectados, el medidor “normal” en la práctica “camina hacia atrás”, lo cual significa un ahorro. Esta es la esencia del sistema de net-metering. El mismo implica que uno paga sólo por la diferencia neta entre lo que inyecta y lo que consume.

1.3. Sistemas fijos y con seguimiento

La instalación de un sistema solar se puede hacer en diferentes ubicaciones:

- Cubiertas Planas
- Cubiertas Inclinas
- Aparcamientos
- Instalaciones de integración arquitectónica



ILUSTRACIÓN 4 PANEL SOLAR FIJO

Como ya se mencionaron antes los sistemas fijos son el que se muestra en la *ilustración 4* anteriormente plasmada. El sistema de seguimiento solar, son nada más que un seguidor solar montado en una estructura utilizada para seguir el sol, estos pueden girar en uno o dos ejes, el sistema a un eje lo podemos observar en la *ilustración 5*, Mientras que el sistema a dos ejes tiene movimientos de Este a Oeste y Norte a Sur, los seguidores solares de dos ejes el cual se observa en la *ilustración 6*, son los que permiten seguir el sol con una mayor precisión. El aumento de rendimiento queda esta estructura es del orden de un 30 – 40% más con respecto a los paneles que estén colocados fijamente y con una inclinación óptima. En el caso de instalaciones fotovoltaicas, si consideramos el rendimiento de toda la instalación, es decir, paneles solares más inversores eléctricos, el incremento puede llegar a un 40%.

La orientación de los paneles solares será tal que éstos se dispongan siempre "mirando" hacia el ecuador terrestre. Esto supone orientación sur para aquellas instalaciones



ILUSTRACIÓN 5 SISTEMA CON MOVIMIENTO 1 EJE

situadas en el hemisferio norte terrestre, y orientadas hacia el norte para las instalaciones situadas en el hemisferio sur. No obstante, son admisibles las desviaciones de hasta $\pm 20^\circ$ respecto del ecuador del observador sin que se produzcan grandes pérdidas de rendimiento.

En concreto, para las instalaciones que se sitúen en el hemisferio norte, la orientación se define por el ángulo llamado azimut (α), que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano (orientación sur) del lugar. Toma el valor 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este, $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste. Por lo que se estarán observando en este caso diferentes valores debido a que se tomaron en cuenta diferentes países del mundo.

En seguidores de un solo eje (Norte-Sur) el rendimiento anual puede ser de un 30%. Con estos sistemas se amortiza más rápidamente el costo, debido a la mayor producción de electricidad.



ILUSTRACIÓN 6 SISTEMA CON MOVIMIENTO 2 EJES

La mayoría de las instalaciones se hacen habitualmente fijas, debido a que es más económica la instalación que la de un seguidor, se debería considerar tomar más en serio los seguidores solares, y si se habla de seguidores solares que no consumen parte de su energía generada, ni ningún tipo de combustible fósil, entonces se estará hablando de un seguidor que no tiene nada que perder, pero si mucho que ganar, como ya existen unos que son los hidro seguidores solares.

Los captadores fijos siempre van a poseer una inclinación que es igual a la latitud del lugar, estos normalmente son los sistemas más utilizados en viviendas y/u otras edificaciones donde se tiene como objetivo generar electricidad para el consumo directo ya sea que este sistema se encuentre aislado o conectado a la red eléctrica pública.

1.4. Rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos

La competitividad ha mejorado considerablemente, principalmente por la dramática reducción de los costes, que hace muy rentable a esta tecnología en algunos países, como se verá más adelante en una comparativa. Esta realidad económica, cuando se combina con el apoyo de los gobiernos (mediante de esquemas de balance neto o

mecanismos equivalentes) ha animado notablemente a los usuarios de muchos países para introducirse en sistema de generación cuyo precio del kilovatio producido y vertido a la red no está privado, como estuvo en España para las instalaciones conectadas a la red hasta el año 2011, lo que supuso un crecimiento insostenible del polémico y politizado déficit tarifario.

La viabilidad económica de este tipo de proyectos pasa por obtener ratios atractivos de rentabilidad de la inversión realizada, esto se alcanza cuando conseguimos que la energía generada por la planta solar fotovoltaica y auto consumida instantáneamente por el usuario tenga un coste de generación inferior al coste de compra de esta misma energía a una compañía distribuidora. Si además conseguimos que la energía sobrante que no se usara para autoconsumo se nos retribuya o incentive la rentabilidad de nuestro proyecto será aún mayor. Se puede entonces definir el concepto de paridad de red como el punto en el cual los costes de producción fotovoltaica y convencional se igualan.

Además, es importante destacar que la percepción de los usuarios en el riesgo que supone los cambios regulatorios (no solo en el sector fotovoltaico sino en el de los precios de electricidad), impactan negativamente en el acercamiento a la paridad de red. La manera de analizar la competitividad de un sistema fotovoltaico frente a la electricidad convencional de la red es estudiando los costes de producción de la energía fotovoltaica, y para ser lo más ecuanímes posibles se ha de tener en cuenta el coste de electricidad generada durante la vida útil de la instalación, y que una vez calculado este, el precio futuro podría diferir a la previsión que hayamos fijado para nuestro estudio, aun teniendo en cuenta las revisiones del valor de la moneda, impuestos y/o costos de módulos fotovoltaicos, el cual ha reducido bastante a lo largo del tiempo, esto lo podemos ver en la siguiente *ilustración 7*.

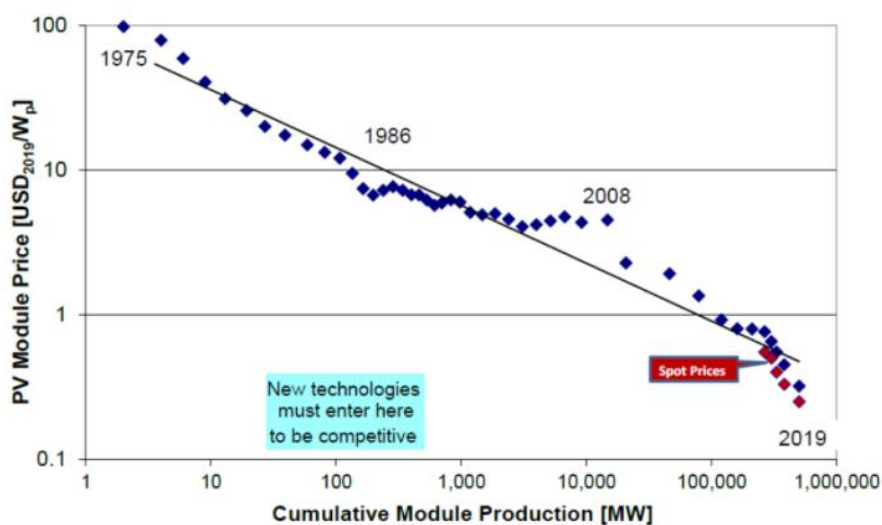


ILUSTRACIÓN 7 CURVA DE PRECIOS DE PANELES SOLARES

2. Procedimiento de análisis

2.1. Metodología de análisis económico

En este apartado se tiene que especificar más a fondo debido a que el análisis de la viabilidad económica y financiera de un proyecto fotovoltaico se basa en procedimientos matemáticos descritos a continuación, los cuales han sido implementados en el software lo cual se tratará de hacer lo más transparente posible para el usuario, de igual manera cabe mencionar que no es necesario tener un conocimiento avanzado para entender los conceptos.

- Se podría empezar hablando acerca del valor actual neto, tasa interna de retorno, índice de rentabilidad, índice de rentabilidad modificado y tiempo de recuperación con descuento. El criterio basado en DPBT da información sobre la liquidez de la inversión, mientras que el resto de parámetros se ocupa de su rentabilidad. Para estimar el costo unitario eléctrico de la energía generada con el sistema fotovoltaico se utiliza el concepto de LCOE. Estos modelos ya se han introducido en trabajos anteriores como el NPV el IRR, sin embargo, otros criterios como el PI, PIM y el DPBT han sido incorporados en el análisis de rentabilidad de este trabajo, en el cual se realiza con el fin de aclarar el enfoque en los valores presentes de los flujos efectivos (de entrada y salida) generados a lo largo de la vida útil del proyecto.

El valor actual neto (VAN o NPV) de un proyecto se define como la diferencia entre los valores actuales de efectivo de entrada (CI, in €) y el efectivo de salida (CO, in €) generadas por la inversión de la vida útil de un proyecto a n tiempo. Matemáticamente podría escribirse de la siguiente manera:

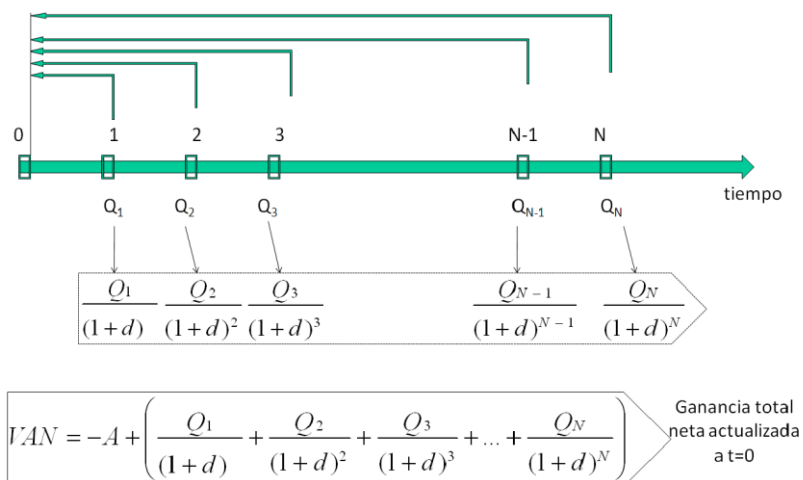


ILUSTRACIÓN 8 VALOR ACTUAL NETO

La entrada de efectivo se obtiene en parte mediante la electricidad fotovoltaica anual generada la cual se inyectará directamente a la red.

Esta dependerá siempre de la depreciación fiscal anual fija para el sistema fotovoltaico, al igual de un criterio importante que indica la viabilidad del proyecto cuando el NPV calculado sea positivo después de utilizar una tasa de descuento sostenible. Es decir, si $VAN > 0$ y $TIR > WACC$ (coste de capital) la inversión es aceptable y obtendremos beneficios, proyectos con van positivos es conveniente realizarlos, siempre que su rentabilidad sea mayor que el coste de oportunidad del capital. Si $VAN < 0$ la inversión será inaceptable por lo que contaremos con pérdidas, el proyecto no debe ser realizado. Si $VAN = 0$ la inversión será neutra o indiferente.

- La tasa interna de retorno de un proyecto de inversión es la tasa de descuento que lleva a NPV a ser igual a 0. El TIR para un proyecto dado se puede definir como la tasa real de interés de la inversión inicial a la que se le presta a un proyecto durante la vida útil, con el fin de lograr la misma rentabilidad. Por lo tanto, el IRR es el valor que se busca satisfacer.

$$0 = PW [CI(N)] - PW [CO(N)] \quad (3)$$

Donde:

- $PW [CI (N)]$ (€) es el valor actual del flujo de efectivo o de la vida útil del sistema
- $PW [CO (N)]$ (€) es el valor actual de las salidas de efectivo del sistema PV
- N (€) es la vida útil del sistema PV

Esta ecuación servirá para el cálculo de una Tasa Interna de Retorno “bruta”, la mayoría de proyectos utilizan mecanismos financieros, la Tasa Interna de Retorno (TIR) proporciona una evaluación más realista. Para obtener el TIRn, la cual incluye la retribución a los recursos financieros del capital invertido. Por lo que la TIR neta será:

$$TIRn = TIR - \text{Coste de capital} \quad (4)$$

Será conveniente la ejecución de un proyecto de inversión, si la TIR resultante del proyecto supera al valor empleado, entendida esta última como coste de capital o bien como rentabilidad mínima exigida por la inversión.

- Plazo de recuperación o Payback time con descuento (DPBT, en años) es un método de evaluación de inversión que determinan los años requeridos para la recuperación del flujo de caja generado, es un indicador de liquidez y riesgo, se calcula con la siguiente fórmula:

$$DPBT \Rightarrow \sum_{i=1}^{DPBT} \frac{Q_i}{((1+d)^i)} = A \quad (5)$$

- El índice de rentabilidad se calcula dividiendo el valor actualizado de los flujos de caja de la inversión por el desembolso inicial. Se aceptarán proyectos cuyo valor de IR sea mayor que 0 y se rechazará aquellos cuyo valor sea menor que 0. Se podrán resolver problemas de jerarquización del VAN cuando el coste de la inversión inicial sea diferente.

$$IR = \frac{VAN}{A} \quad (6)$$

- Coste normalizado de la electricidad (LCOE, levelised cost of electricity), este se define como el costo constante y teórico de la electricidad fotovoltaica producida durante su vida útil, expresado en €/kWh. Además de permitir la comparación de costos de la energía generada por diferentes tecnologías. Es por esto que el uso de LCOE cada vez es más adoptado como métrica por muchos en la fotovoltaica. Este se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$LCOE = \frac{VAC}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n(1-r_d)^n}{(1+d)^n}} \quad (7)$$

Donde:

- VAC: Valor actual del coste del sistema a lo largo de la vida útil (N)
 - E: Producción de electricidad
 - d: tasa nominal de descuento
 - N: Vida útil del SFCR
 - rd: tasa degradación de potencia
- Factibilidad económica y financiera, un proyecto de inversión/financiación es factible económicamente cuando la rentabilidad proporcionada por los activos es superior al costo de su pasivo, es decir, que el VAN es mayor a cero y la TIR es mayor que el coste de capital de su pasivo.

Un proyecto es factible financieramente (punto de vista de la liquidez) cuando en todo momento de su horizonte temporal presenta una tesorería acumulada positiva, podemos visualizar un ejemplo en la *ilustración 9*.

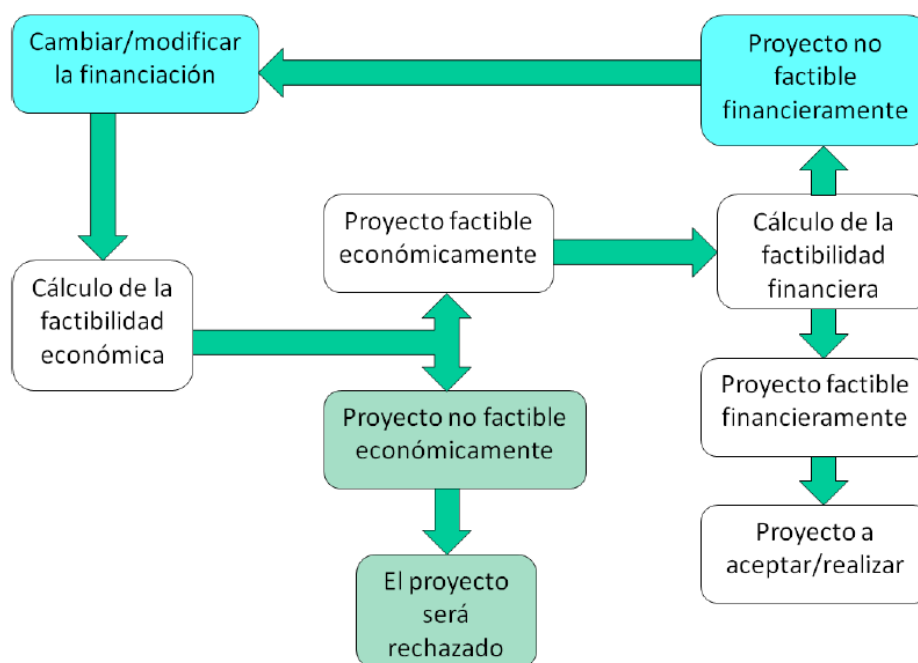


ILUSTRACIÓN 9 PROCESO DE FACTIBILIDAD

➤ Costos de operación y mantenimiento

A pesar de la influencia probada de operaciones y mantenimiento los gastos de proyectos fotovoltaicos no se podrían excluir, la definición de un costo anual para las tareas de operación y mantenimiento no es muy sonada en el campo debido a que aún carece de consenso y estandarización. miembros del grupo de trabajo “Acceso solar al capital público” (SAPC) están actualmente recomendando un 0.5% anual de la inversión inicial y 1% para instalaciones pequeñas en cuanto a criterio de mantenimiento. Otros autores asumen que el costo de operación y mantenimiento es de 20 US \$ / kWp / año para los sistemas fijos, aunque este costo cubre principalmente la limpieza.

Es importante demostrar intuitivamente como es el proceso de inversión de un proyecto de este tipo, es por eso que en la *ilustración 10*, se muestra un esquema de cómo está elaborado o como se llevaría a cabo un proyecto hablando desde el proceso de inversión.

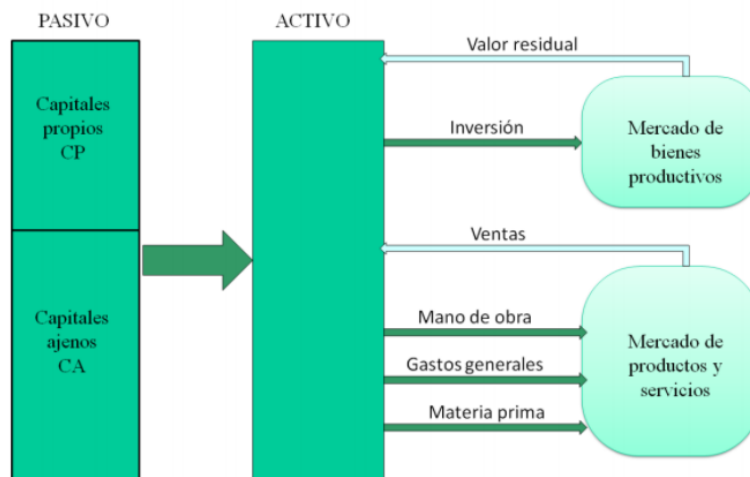


ILUSTRACIÓN 10 PROCESO DE INVERSIÓN

3. Softwares

3.1. Photovoltaic Geographical Information System

Este trabajo se llevó a cabo mediante una interfaz web que sirvió de bastante ayuda para obtener datos de partida, y así mismo poder obtener resultados de las diferentes zonas geográficas a estudiar. A esta se le conoce como PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), la cual es una aplicación oficial desarrollada por la unión europea que permite calcular la producción fotovoltaica en cualquier zona de Europa, Asia y América, permitiendo al usuario conocer las ventajas o desventajas que tendría instalar un sistema de generación energética para verterla a la red, en una zona geográfica determinada, obteniendo datos con mayor precisión a partir de las medidas climatológicas, interpolado datos de los satélites geoestacionarios, observar *Ilustración 11*.

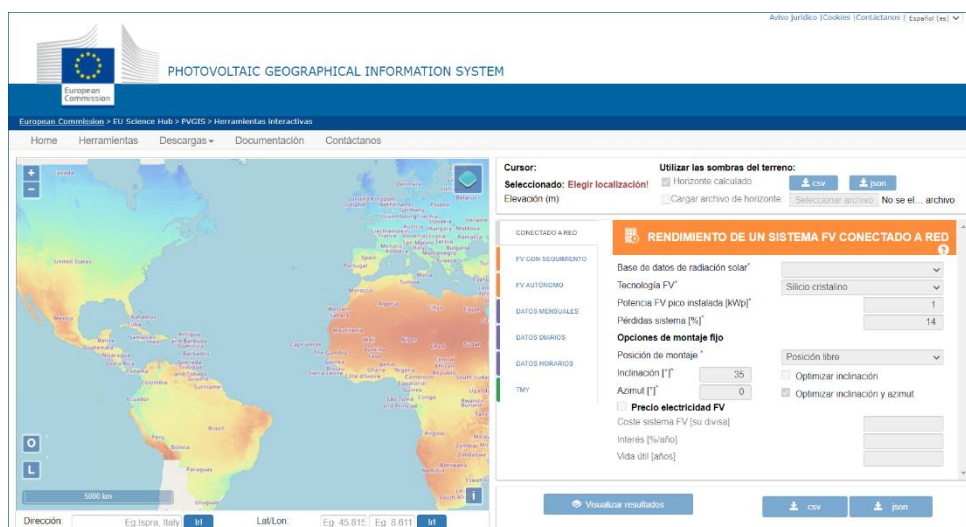


ILUSTRACIÓN 11 VENTANA PRINCIPAL DE PVGIS

La interfaz web consiste en dos partes. La base de radiación solar permite buscar las condiciones climáticas en la base de datos GIS preguntando los valores actuales para un lugar clicando en el mapa o especificando vía introduciendo la latitud y la longitud. Los datos mensuales y anuales son mostrados en ventanas separadas mediante gráficos y tablas. Con la segunda parte, Cálculo estimado del potencial fotovoltaico, es posible buscar en la base de datos la radiación solar y calcular la potencia que generará una instalación fotovoltaica definida por la potencia nominal instalada, ángulo de los módulos fotovoltaicos y la ratio de rendimiento del sistema. El cálculo integral permite también calcular para una situación dada, al igual que la otra parte, el ángulo de inclinación óptimo al igual que su orientación este-oeste ideal. El programa de cálculo usa la base de datos climática del GIS que incluye también los efectos de la sombra en el terreno. El efecto de las sombras sobre el terreno es el motivo por el cual la orientación perfecta no siempre tenga por qué ser orientación sur.

La desarrollada base de datos GIS muestra en las diversas regiones los datos disponibles de irradiación global y el potencial de generación de energía fotovoltaica.

La *ilustración 12* representa la radiación anual total para un ángulo de inclinación óptimo de un sistema fotovoltaico (el ángulo de inclinación óptimo del panel recibe el máximo posible de irradiación anual global). Los valores están dados en [kWh/m²/año]. Comparando los sistemas de instalación de los módulos, la media anual de generación de potencia de un sistema fotovoltaico con módulos inclinados en ángulos óptimos, respectivamente decremanta entre 20-30%, cuando son comparados con la irradiación de un sistema con seguimiento.

The screenshot shows the PVGIS web interface. On the left is a map of Europe with a location marker in Malaga, Spain. The right panel contains the following sections:

- Cursor:** Seleccionado: 36.719, -4.422; Elevación (m): 12.
- Utilizar las sombras del terreno:**
 - ☒ Horizonte calculado
 - ☐ Cargar archivo de horizonte
- CONECTADO A RED:**
 - RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED**
 - Base de datos de radiación solar*: PVGIS-SARAH
 - Tecnología FV*: Silicio cristalino
 - Potencia FV pico instalada [kWp]*: [input field]
 - Pérdidas sistema [%]*: [input field]
 - Opciones de montaje fijo:**
 - Posición de montaje*: Posición libre
 - Inclinación [°]*: [input field]
 - Azmut [°]*: [input field]
 - ☐ Precio electricidad FV
 - Coste sistema FV [su divisa]: [input field]
 - Interés [%/año]: [input field]
 - Vida útil [años]: [input field]
 - ☐ Optimizar inclinación
 - ☒ Optimizar inclinación y azimut
- Visualizar resultados** button
- Export** buttons: csv, json

ILUSTRACIÓN 12 VENTANA DE INGRESO DE DATOS

Para esto, se ha elegido una ciudad de España (Málaga). Para dicha ciudad realizaremos 3 estudios mediante PVGIS, uno de ellos suponiendo que queremos realizar la instalación de un sistema fotovoltaico de 1 kWp mediante un sistema fijo, para continuar con el estudio con un sistema con seguimiento tanto vertical como a dos ejes.

Para esta ubicación se obtienen los siguientes valores mostrados en la *ilustración 13*:

- Lugar: 36.719, -4.422, Elevación: 12 m.s.n.m
- Potencia nominal del sistema FV: 1.0 kWp (silicio cristalino).



ILUSTRACIÓN 13 VENTANA DE RESULTADOS

De igual manera se utilizó Excel como hoja de cálculo para registrar los datos más importantes de cada ciudad a estudiar, en la *tabla 1* se puede observar un ejemplo del cual se hablará más adelante con mayor profundidad y tener más claros los conceptos a estudiar.

TABLA 1 VALORES EN MÁLAGA

Localización (Lat/Lon)	36.719, -4.422
Ángulo de inclinación (°)	33
Ángulo de azimut (°)	3
Producción anual (kWh)	1707.6
Irradiación anual (kWh/m ²)	2143.56
Variación interanual (kWh)	38.48
Cambios en la producción:	
Ángulo de incidencia (%)	-2.6
Efectos espectrales (%)	0.62
Temperatura y baja irradiancia (%)	-5.49
Pérdidas totales (%)	-20.34

3.2. Techno-Economic analysis of PV system

Este programa está desarrollado con la finalidad de estimar la viabilidad económica y el coste de generación de un sistema fotovoltaico. Esto permite a los propietarios de viviendas, propietarios de pequeños edificios y otras entidades involucradas con sistemas fotovoltaicos, nos permite estimar la viabilidad económica y financiera, así como también es de gran ayuda para evaluar el coste de generación de una instalación fotovoltaica potencial.

Para poder realizar un estudio con este software es importante contar con los parámetros de partida, por lo que es necesario investigar las diferentes variables para resolver la ecuación con la que este software cuenta. Entre estas variables se encuentran distribuidas en diferentes campos, como las variables técnicas, los parámetros económicos y los parámetros financieros, en la *ilustración 14* se puede observar más a detalle la ventana principal.

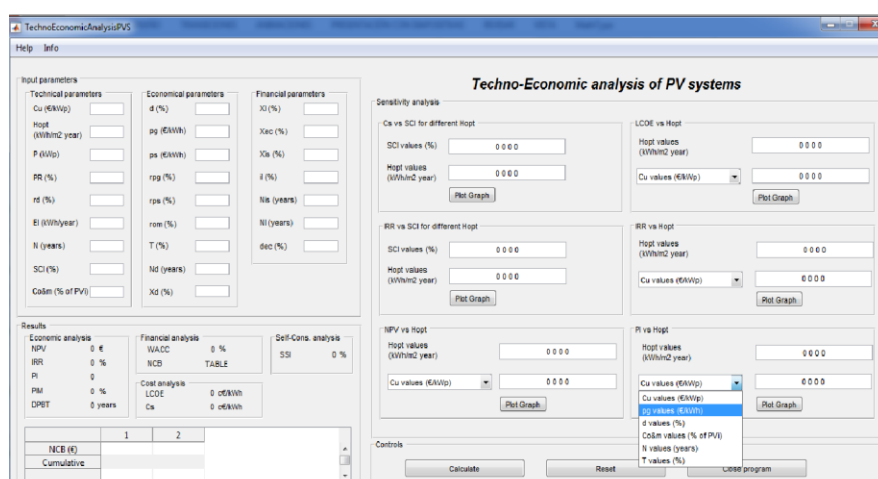


ILUSTRACIÓN 14 SOFTWARE TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF PV SYSTEMS

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp)	d (%)	XI (%)
Hopt (kWh/m2 year)	pg (€/kWh)	Xec (%)
P (kWp)	ps (€/kWh)	Xis (%)
PR (%)	rpg (%)	il (%)
rd (%)	rps (%)	Nis (years)
EI (kWh/year)	rom (%)	NI (years)
N (years)	T (%)	dec (%)
SCI (%)	Nd (years)	
Co&m (% of PVI)	Xd (%)	

ILUSTRACIÓN 15 EJEMPLO PARÁMETROS DE ENTRADA

Una vez ingresados los parámetros como se muestra en la ilustración 15 anteriormente plasmada, se calculan los resultados mediante un menú de control, en la opción de calcular, en la *ilustración 16* se visualizan estos controles. Una vez hecho lo anterior el programa se encarga de arrojarlos los resultados por medio de fórmulas internas del software, se obtendrán resultados de análisis económico, financiero y de costo, al igual es de gran importancia hablar acerca de la tabla de saldo neto de caja la cual vendrá presente con valores para los diferentes años, así como la cantidad acumulada, todo lo antes mencionado se puede observar en la *ilustración 17*.

ILUSTRACIÓN 16 MENÚ DE CONTROLES

ILUSTRACIÓN 17 RESULTADOS

CAPÍTULO 3

1. Evaluación y análisis de sistemas solares

En este capítulo empezaremos a ver los resultados de los distintos países en base al sistema fotovoltaico y sus diferentes sistemas, como ya antes los mencionamos, será un sistema fijo, un sistema de 1 eje y otro de dos ejes. Se hablará un poco acerca de cuáles fueron las distintas ciudades que se tomaron para realizar el promedio del país y así poder ingresar los parámetros de entrada al software.

1.1. Sistema fotovoltaico fijo con ángulo óptimo

Se dará el primer resultado del país de México donde podremos analizar cuál de los diferentes sistemas será el mejor y por qué. Después se pasará a plasmar las tablas de resultados de los diferentes países una vez habiendo explicado el primero y dejándolo lo más claro posible para el lector.

Para analizar el país de México, se comenzó utilizando el PVGIS para obtener los parámetros de entrada, de los cuales todos son de gran importancia, sin exclusión alguna, desde la localización del sistema hasta la temperatura y la baja irradiancia. Como bien se sabe si un sistema fotovoltaico cuenta con las condiciones ambientales y físicas en buen estado, la producción será mucho mayor. México goza de una situación privilegiada en cuanto a irradiación solar, con un promedio anual de 5.3 kWh/m² por día. De este país se tomaron 3 ciudades estratégicas (Jalisco, Chihuahua y Baja California sur) para obtener un promedio de la producción anual media, la irradiación anual media, el yield de referencia y por último el porcentaje de PR. Los resultados siguientes están basados en un sistema fijo con un ángulo óptimo:

TABLA 2 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA FIJO EN MÉXICO

	Ángulo óptimo (sistema fijo)		
	México		
	Jalisco	Chihuahua	Baja California Sur
Localización (Lat/Lon)	20.594, -103.581	30.625, -106.464	24.625, -111.152
Ángulo de inclinación (°)	23	31	24
Ángulo de azimut (°)	-7	-7	-1
Producción anual (kWh)	1765.8	1900.83	1842.49
Irradiación anual (kWh/m ²)	2340.6	2476.19	2447.98
Variación interanual (kWh)	57.7	49.79	50.97
Cambios en la producción:			
Ángulo de incidencia (%)	-2.63	-2.39	-2.52
Efectos espectrales (%)	Na	Na	Na
Temperatura y baja irradiancia (%)	-9.91	-8.56	-10.22
Pérdidas totales (%)	-24.56	-23.24	-24.73

Una vez obtenidos estos datos se les extrajo el promedio. Para obtener los resultados siguientes:

TABLA 3 PARÁMETROS PROMEDIO, SISTEMA FIJO EN MÉXICO

	Sistema Fijo
Producción anual media (kWh)	1836.373
Irradiación anual media (kWh/m ²)	2421.59
Reference Yield (Yr)	2421.59
Final Yield (Yf)	1836.373
PR (%)	75.8%

TABLA 4 PARÁMETROS TÉCNICO ECONÓMICOS DE MÉXICO

Country	Average Nominal Lending interest rate (i_l) 2009-2019 ^(a)	Average Inflation (i) 2009-2014 ^(b)	Nominal equity IRR (d_s) 1900-2000 ^(c)	Tax (T) ^(d)
Mexico	5%	4.1%	15,8%	30.0%

Estos datos serán utilizados en el software de análisis económico donde se requieren de otros parámetros tanto técnicos, de financiación, como económicos. En la *ilustración 18* se muestra la tabla de los parámetros de entrada.

Input parameters

Technical parameters		Economical parameters		Financial parameters	
Cu (€/kWp)	866	d (%)	7.5	XI (%)	70
Hopt (kWh/m ² year)	2421.29	pg (€/kWh)	0.28	Xec (%)	25
P (kWp)	1	ps (€/kWh)	0	Xis (%)	5
PR (%)	75.8	rpg (%)	2	il (%)	5
rd (%)	0.5	rps (%)	0	Nis (years)	5
EI (kWh/year)	1836.37	rom (%)	1.4	NI (years)	20
N (years)	25	T (%)	30	dec (%)	15.8
SCI (%)	0	Nd (years)	5		
Co&m (% of PVi)	0.5	Xd (%)	100		

ILUSTRACIÓN 18 PARÁMETROS DE S. FIJO MÉXICO

En cuanto a los parámetros técnicos se tomaron en cuenta de la siguiente manera:

Tomando un costo unitario de 866 USD/kWp por el tipo de sistema y su capacidad de generación, el cual será de una potencia nominal de 1 kWp, esta potencia se tomó en cuenta para los diferentes sistemas, en las diferentes regiones geográficas. Cabe mencionar que los costos de los sistemas fotovoltaicos fueron extraídos de un escrito nombrado; IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Donde el coste de un sistema fijo es de 866\$ USD/kW para el país de México como se muestra en la *ilustración 19*, México es el país con el que demostraremos el ejemplo principal. Para un sistema a un eje y a dos ejes este se toma de la siguiente manera;

- Para un sistema a 1 eje son estos mismos 866\$ USD/kW + 406.
- Para un sistema a 2 ejes son estos mismos 866\$ USD/kW + 1456.

Una vez conocido el coste del sistema fijo para cada uno de los países, el cual se encuentra en la imagen siguiente, el resto de los sistemas se calculan según se indica arriba.

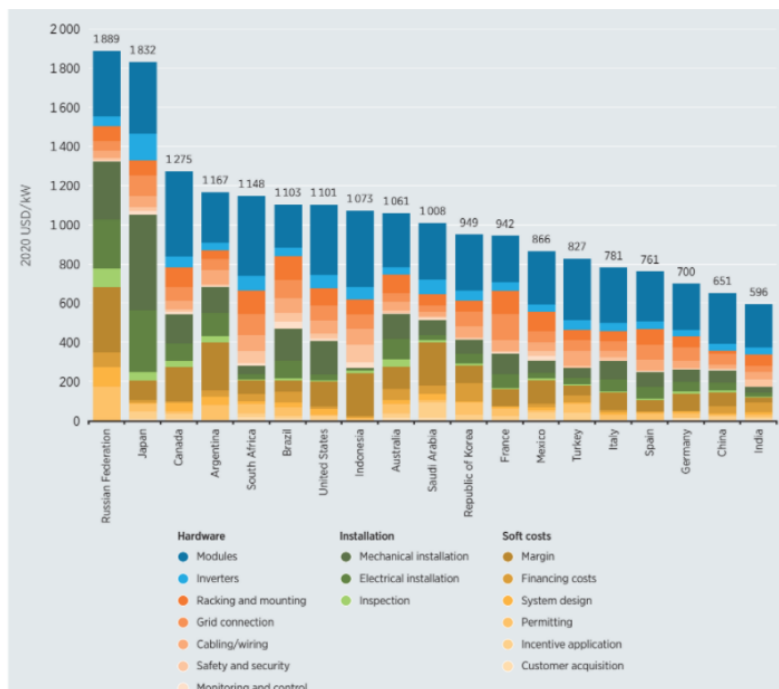


ILUSTRACIÓN 19 COSTE DE INSTALACIÓN

Mediante el software (PVGIS), se obtuvo una irradiación media anual de 2421.59 kWh/m², es la media resultante de las 3 ciudades analizadas, se obtuvo un performance ratio del 75.8%, se tomó un rango de degradación de eficiencia anual en los paneles del 0.5%. En este caso según el cálculo la producción media anual fue de 1836.37 kWh/año, la cual es directamente vertida en la red, debido a que este sistema está considerado para inyectar toda la electricidad generada a la red (SCI), con una vida útil del sistema de 25 años, en cuanto al costo de mantenimiento y tareas de operación anual, es importante tener presente el 0.5% de la inversión inicial del sistema, lo cual se prevé que sea suficiente.

Una vez registrados los parámetros técnicos, se tiene que seguir con los parámetros económicos los cuales son de gran importancia al igual que los anteriores y los posteriores. Estos se podrían describir de la siguiente manera:

Empezando con la tasa de descuento nominal, se asignó de 7.5% con el fin capitalizar un poco el sistema. En el país de México la venta de electricidad a la red es un tema relativamente nuevo, las subastas se manejan por un control operativo del mercado eléctrico para después pasar a la red y a su debida comercialización, por lo que se tomó el promedio de venta a un costo de 0.28 €/kWh. En cuanto a las tasas de escala anual para el precio de electricidad a la red, se consideró de 2% debido a la volatilidad económica que esta presenta. La tasa de escala anual de mantenimiento se tomó 0.5% el cual se considera también para gastos de operación. En cuanto a la tasa de impuesto sobre la renta, se consideró un 30%, se consideran 5 años para amortizar la inversión en cuanto a efectos fiscales, con una depreciación del valor actual del 100%.

Este proyecto tiene diferentes márgenes en cuanto a el financiamiento, en la tabla 4 se pueden observar algunos datos que se mencionaran en seguida. Antes que nada, el método de solventar los gastos de este proyecto fue de la siguiente manera, se realizó un préstamo cubriendo solo un 70%, un 25% financiado por capital social y un 5% mediante un subsidio o una donación, este último tiene que ser cubierto en un lapso de 5 años (Nis). Como es muy bien sabido todo préstamo tiene su interés, por lo que en este no sería la excepción, se consideró un 5% de interés anual, se considera saldar la inversión del préstamo en aproximadamente 20 años, con un dividendo anual del capital social es de 15.8%.

La mayoría de estos datos se estarán considerando para los sistemas siguientes, cambiando parámetros muy considerables del propio sistema.

Una vez asignado lo anterior podremos obtener los siguientes resultados:

Results					
Economic analysis		Financial analysis		Self-Cons. analysis	
NPV	3938.43 €	WACC	7.45 %	SSI	0 %
IRR	48.3 %	NCB	TABLE		
PI	5.55				
PIM	455 %	Cost analysis			
DPBT	2.34 years	LCOE	3.56 c€/kWh		
		Cs	NaN c€/kWh		

ILUSTRACIÓN 20 RESULTADOS DEL S. FIJO MÉXICO

Se explicó con anterioridad un poco de las siglas que se muestran en los resultados, en su mayoría en español, vamos a continuar hablando al respecto en base a la imagen anterior, donde lo que se visualiza son los resultados del sistema solar fotovoltaico fijo con un ángulo óptimo en el país de México.

En cuando al valor actual neto, net present value, en inglés, se obtuvo un valor de 3938.43 €, con una tasa interna de retorno del 48.3%, como se había mencionado antes, la ejecución de un proyecto de inversión será conveniente se la IRR ó TIR resultante supera el valor del coste de capital. Siendo estos unos resultados favorables para el sistema al igual que el índice de rentabilidad resultante, con un valor del 5.55, por lo que el plazo de recuperación con descuento es de 2.34 años, significa que eso nos llevaría a igualar el valor del capital invertido en muy poco tiempo. Un dato muy curioso y extremadamente alto es el índice de rentabilidad modificado, este se trata de una medida de rentabilidad bruta, pues incluye la retribución a los recursos financieros del capital, obteniendo un valor de 455%, este se calcula mediante el valor actual neto sobre el costo inicial del sistema, lo cual en este caso indica el numero de unidades monetarias obtenidas por unidad invertida, es por eso que este puede verse como un sistema completamente viable.

Los Análisis financieros y de costos según la imagen antes mostrada, el costo de capital promedio será de 7.45%, el saldo neto de caja se puede observar en la siguiente imagen, en esta se consideran los 25 años de vida útil del sistema solar fotovoltaico. Al final dicho lapso se tendrá un acumulado de 9192.63€.

TABLA 5 NET CASH BALANCE

México	
NCB	Acumulative
334.51	334.51
339.91	674.42
345.39	1019.81
350.95	1370.76
356.59	1727.35
312.95	2040.3
318.76	2359.06
324.66	2683.72
330.65	3014.37
336.72	3351.09
342.89	3693.98
349.15	4043.13
355.5	4398.63
361.94	4760.57
368.48	5129.05
375.12	5504.17
381.86	5886.03
388.7	6274.73
395.64	6670.37
402.68	7073.05
452.48	7525.53
459.74	7985.27
467.1	8452.37
474.58	8926.95
265.66	9192.61

Debido a algunos parámetros como lo son, el valor actual del coste del sistema a lo largo de la vida útil, la producción de electricidad, la tasa nominal de descuento, la vida útil del sistema solar fotovoltaico y la tasa de degradación de potencia, se obtuvo un coste normalizado de la electricidad de 3.56 c€/kWh, descartando un costo directo de consumo de electricidad, ya que este se está entregando por completo a la red. Es por eso mismo que se obtiene un índice de autosuficiencia del 0%.

Como se sabe un proyecto de inversión/financiación es factible económicamente cuando la rentabilidad proporcionada por los activos es superior al coste de su pasivo, es decir, que el VAN es mayor que cero, lo cual en este caso aplica correctamente. El TIR es mayor que el costo del capital de su pasivo, de igual manera se considera factible en el caso de este proyecto, por lo que se podría realizar sin problema alguno.

1.2. Sistema fotovoltaico a un eje con 0°

Para empezar este sistema, al ser realizado con movimiento a 1 eje se puede denotar que por el simple hecho de contar con movimiento se podrá lograr obtener una mayor producción de electricidad.

TABLA 6 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA 1 EJE EN MÉXICO

	1 EJE 0°		
	México		
	Jalisco	Chihuahua	Baja California Sur
Localización (Lat/Lon)	20.594, -103.581	30.625, -106.464	24.625, -111.152
Ángulo de inclinación (°)	0	0	0
Ángulo de azimut (°)			
Producción anual (kWh)	2235.54	2418.78	2392.22
Irradiación anual (kWh/m ²)	2935.99	3123.2	3127.35
Variación interanual (kWh)	80.2	68	73.3
Cambios en la producción:			
Angulo de incidencia (%)	-1.43	-1.21	-1.24
Efectos espectrales (%)	Na	Na	Na
Temperatura y baja irradiancia (%)	-10.17	-8.84	-9.94
Pérdidas totales (%)	-23.86	-22.55	-23.51

Una vez obtenidos los resultados simulados del sistema a un eje en las diferentes ciudades, pasamos a generar el promedio de los parámetros necesarios para generar el análisis, siendo estos los resultados:

TABLA 7 PARÁMETROS PROMEDIO, SISTEMA 1 EJE EN MÉXICO

	1 EJE 0°
Producción anual media (kWh)	2348.846667
Irradiación anual media (kWh/m ²)	3062.180
Reference yield (Yr)	3062.180
Final Yield (Yf)	2348.846667
PR (%)	76.7%

TABLA 8 PARÁMETROS TÉCNICOS FINANCIEROS DE MÉXICO

Country	Average Nominal Lending interest rate (i_l) 2009-2019 ^(a)	Average Inflation (i) 2009-2014 ^(b)	Nominal equity IRR (d_s) 1900-2000 ^(c)	Tax (T) ^(d)
Mexico	5%	4.1%	15,8%	30.0%

Una vez contando con todos los datos de entrada, los plasmamos en la ventana de “Input parameters” la cual nos ayudara a calcular los resultados que estamos buscando. En la ilustración 21 se pueden ver los datos de entrada ya registrados.

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1272	d (%) 7.5	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 3062.18	pg (€/kWh) 0.28	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 75.8	rpg (%) 2	il (%) 5
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 2348.84	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 15.8
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVi) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 21 PARÁMETROS S. 1 EJE MÉXICO

Este sistema cuenta con ciertos cambios en cuestiones técnicas, debido a que es un sistema que cuenta con movimiento en un eje, el costo, la producción media, la irradiación anual percibida y el porcentaje de mantenimiento están por arriba del sistema anterior, y así mismo se puede visualizar los resultados obtenidos en la siguiente ilustración 22.

Results					
Economic analysis		Financial analysis		Self-Cons. analysis	
NPV	4782.3 €	WACC	7.45 %	SSI	0 %
IRR	41.85 %	NCB	TABLE		
PI	4.76				
PIM	376 %	Cost analysis			
DPBT	2.72 years	LCOE	4.36 c€/kWh		
		Cs	NaN c€/kWh		

ILUSTRACIÓN 22 RESULTADOS S. DE 1 EJE MÉXICO

El aumento de generación eléctrica ha beneficiado algunos de nuestros resultados, pero no a otros, siendo nuestro valor actual neto de 4782.3€, obteniendo una tasa interna de retorno del 41.85%, el índice de rentabilidad del 4.76, se cuenta con un índice de rentabilidad modificado del 376%, dando un resultado de plazo de recuperación con

descuento de 2.72 años, considerando el sistema y la inversión inicial es un tiempo muy razonable para igualar el valor del capital invertido. Siendo el índice de rentabilidad mayor a 0 es considerado un proyecto aceptable y con buenos beneficios.

Contamos con un costo de capital promedio de un 7.45%, similar al sistema anterior. Después del lapso de los 25 años de vida útil del sistema se contará con un acumulado de 11130.66€. El análisis del coste normalizado de la electricidad generada se obtuvo de 4.36 c€/kWh.

TABLA 9 NET CASH BALANCE

México	
NCB	Acumulative
412.3	412.3
419.06	831.36
425.91	1257.27
432.87	1690.14
439.93	2130.07
374.59	2504.66
381.86	2886.52
389.24	3275.76
396.73	3672.49
404.33	4076.82
412.05	4488.87
419.88	4908.75
427.83	5336.58
435.89	5772.47
444.08	6216.55
452.39	6668.94
460.82	7129.76
469.38	7599.14
478.07	8077.21
486.88	8564.09
558.48	9122.57
567.56	9690.13
576.78	10266.91
586.13	10853.04
277.62	11130.66

Este sistema se podría considerar factible para este país, debido a que los resultados antes mostrados están por arriba de lo necesario para que un proyecto sea factible económicamente, tanto como en inversión y en financiación.

1.3. Sistema fotovoltaico a 2 ejes

Para finalizar con este país, vamos a cerrar con uno de los sistemas más importantes, importante porque a diferencia de los otros el contar con movimiento en sus dos ejes cuenta con una mayor captación que los anteriores, de igual manera no todo es perfecto con este sistema, por lo mismo que cuenta con dos ejes en movimiento se tiene que dar un poco más de mantenimiento, debido a esto se tuvo que realizar un ajuste en el para realizar el análisis y saber si será factible el llevarlo a cabo o podríamos declinar e irnos por alguno de los dos anteriores. En la tabla que se muestra en seguida se pueden observar los datos obtenidos de cada una de las diferentes ciudades.

TABLA 10 RESULTADOS FOTOVOLTAICOS, SISTEMA 2 EJES EN MÉXICO

	Angulo optimo 2 ejes		
	México		
	Jalisco	Chihuahua	Baja California Sur
Localización (Lat/Lon)	20.594, -103.581	30.625, -106.464	24.625, -111.152
Angulo de inclinación (°)			
Angulo de azimut (°)			
Producción anual (kWh)	2370.89	2677.09	2577.4
Irradiación anual (kWh/m²)	3140.46	3480.66	3394.94
Variación interanual (kWh)	91.9	78.7	80.6
Cambios en la producción:			
Angulo de incidencia (%)	-1.3	-0.99	-1.09
Efectos espectrales (%)	Na	Na	Na
Temperatura y baja irradiancia (%)	-11.06	-9.67	-10.75
Pérdidas totales (%)	-24.51	-23.09	-24.08

Algo que cabe mencionar en este apartado una vez presentadas las 3 tablas relacionadas con los diferentes sistemas, se tienen datos muy aproximados y con poca variabilidad en cuanto a las pérdidas totales. Donde el cambio es realmente notorio es en la variación interanual, la cual cambia de forma significativa a diferencia que el sistema cambia.

Es muy importante saber que las condiciones de funcionamiento de una célula fotovoltaica tales como la irradiación y la temperatura afectan directamente a la tensión, intensidad y potencia generada por la misma.

Una vez mencionado lo anterior podremos proseguir con el último análisis de este país obteniendo los datos promedios que se requieren.

Algo que se estaba olvidando es el tema de los Yield, creo que es el momento justo para hablar de ellos debido a que están presentes en cada una de las tablas de promedios, los dos diferentes “Yield” mejor conocidos como productividad, final o de referencia, son utilizados o se conocen como, Horas Equivalentes de Sol (HES), a esto se le define como la energía útil producida por el sistema en un cierto periodo de tiempo, respecto de la potencia nominal de la instalación, expresada en kWh/kWp. La productividad de referencia se define como la irradiación solar incidente en el plano del generador fotovoltaico en un periodo de tiempo expresado en kWh/m², respecto a la irradiancia solar en condiciones estándar.

TABLA 11 RESULTADOS PROMEDIO, SISTEMA 2 EJES EN MÉXICO

	Angulo optimo 2 Ejes
Producción anual media (kWh)	2541.793
Irradiación anual media (kWh/m²)	3338.687
Reference yield (Yr)	3338.687
Final Yield (Yf)	2541.793
PR (%)	76.1%

Input parameters

Technical parameters Cu (€/kWp) 2322 Hopt (kWh/m2 year) 3338.68 P (kWp) 1 PR (%) 76.1 rd (%) 0.5 EI (kWh/year) 2541.79 N (years) 25 SCI (%) 0 Co&m (% of PVI) 1.5	Economical parameters d (%) 7.5 pg (€/kWh) 0.28 ps (€/kWh) 0 rpg (%) 2 rps (%) 0 rom (%) 1.4 T (%) 30 Nd (years) 5 Xd (%) 100	Financial parameters Xi (%) 70 Xec (%) 25 Xis (%) 5 il (%) 5 Nis (years) 5 NI (years) 20 dec (%) 15.8
--	--	--

ILUSTRACIÓN 23 PARÁMETROS S. 2 EJES MÉXICO

Al implementar un sistema con control de movimiento a dos ejes, como es este caso, implica mayor costo en cuanto a precio del sistema, mantenimiento y operación. Al igual se obtienen mayores beneficios al tener mayor eficiencia y estar siempre percibiendo la radiación directa. En seguida en la ilustración siguiente, se presentan los parámetros obtenidos de dicho sistema.

Results		
Economic analysis		Financial analysis
NPV	4343.98 €	WACC 7.45 %
IRR	25.98 %	NCB TABLE
PI	2.87	
PIM	187 %	Cost analysis
DPBT	4.46 years	LCOE 7.66 c€/kWh
		Cs NaN c€/kWh
		Self-Cons. analysis
		SSI 0 %

ILUSTRACIÓN 24 RESULTADOS S. A 2 EJES MÉXICO

Los resultados antes plasmados están decreciendo a diferencia de los anteriores, como se puede ver se tiene un valor actual neto de 4343.98€, una tasa interna de retorno del 25.98%, el índice de rentabilidad del 2.87, igual se puede ir considerado un proyecto aceptable y con buenos beneficios. Se cuenta con un índice de rentabilidad modificado del 187%, dando un resultado de plazo de recuperación con descuento de 4.46 años.

Teniendo un costo de capital promedio de un 7.45%. Después del lapso de los 25 años de vida útil del sistema se contará con un acumulado en negativo de 9941.92€. El análisis del coste normalizado de la electricidad generada se obtuvo de 7.66 c€/kWh.

Estos sistemas son analizados para el país de México como bien antes se mencionó, cabe resaltar que México es un país que goza de una situación privilegiada en cuanto a la irradiación solar que recibe, es por eso que estos sistemas son factibles para llevarse a cabo, obviamente se debe de tener en cuenta que el sistema a dos ejes es el sobresaliente respecto al resto, pero también se tiene en mente que un sistema a dos ejes lleva más en cuanto a mantenimiento, en este caso se consideró un 1.5% en cuanto a gastos de mantenimiento y operación, lo cual se ve muy factible durante la vida útil del mismo.

México	
NCB	Acumulative
406.95	406.95
414.14	821.09
421.43	1242.52
428.83	1671.35
436.34	2107.69
311.61	2419.3
319.35	2738.65
327.2	3065.85
335.17	3401.02
343.26	3744.28
351.47	4095.75
359.8	4455.55
368.26	4823.81
376.85	5200.66
385.56	5586.22
394.4	5980.62
403.37	6383.99
412.48	6796.47
421.73	7218.2
431.11	7649.31
555	8204.31
564.67	8768.98
574.48	9343.46
584.43	9927.89
14.04	9941.93

Analizando los 3 diferentes sistemas respecto a su costo normalizado de la electricidad generada, el sistema fijo con una inclinación optima es mucho mejor que los otros dos, a pesar de que cuenta con un valor actual neto por debajo de los otros dos sistemas, cuenta con la tasa de retorno más favorable, con los siguientes resultados. Un valor actual neto de 3,938.43€, una tasa interna de retorno del 48.3%, el índice de rentabilidad del 455%, esto se debe también a que el coste de un sistema fijo es menor al coste de los otros dos sistemas por lo mismo tenemos un plazo de recuperación de 3.56 año.

ANEXO.

El aumento de las economías de escala y las nuevas mejoras tecnológicas seguirán reduciendo los costes de la energía solar fotovoltaica. Globalmente, el coste total de los proyectos solares FV se sitúa por debajo de los costes marginales de las plantas de generación con combustibles fósiles y seguiría bajando drásticamente en las tres próximas décadas. Esto haría que la energía solar FV resultase muy competitiva en numerosos mercados, situándose la media entre 340 y 834 USD por kilovatio (kW) hasta 2030 y entre 165 y 481 USD/kW hasta 2050, frente a la media de 1210 USD/kW que hoy en día estamos adquiriendo, esto es dependiendo el sistema de movimiento o en su defecto, un sistema fijo. Ya que el sector solar esta evolucionando con una gran rapidez, cambiando a un ritmo acelerado gracias a las innovaciones que se producen a lo largo de la cadena de valor estamos presentando estos estudios que se han realizado a diferentes países del mundo, y podremos observar cual sistema de los tres diferentes en el estudio resulto ser el mejor.

Como se comentó anteriormente en este apartado podremos ver los resultados englobados de los países en discusión, cada una de nuestras variables la podremos encontrar en una gráfica distinta, para así poder observar los resultados de una mejor manera, y, visualizar el país con mayores beneficios o con mayor aprovechamiento energético esto con nuestros 3 diferentes sistemas (Fijo, a 1 eje, a 2 ejes).

En el punto 1 del anexo podremos observar los datos utilizados para obtener los resultados buscados de todos los países con un sistema fijo. En el punto 2 se podrán observar los resultados obtenidos para un sistema a 1 eje, y así mismo para el punto 3 se verán los resultados obtenidos para un sistema a 2 ejes.

- Sistema Fijo, ángulo óptimo

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1167	d (%) 10.4	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 1877.61	pg (€/kWh) 0.15	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 76.1	rpg (%) 2	il (%) 11.8
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1428.72	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 25	dec (%) 15.4
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 25 PARÁMETROS S. FIJO COLOMBIA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 889	d (%) 13	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 1852.64	pg (€/kWh) 0.105	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.3	rpg (%) 2	il (%) 12.4
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1431.19	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 22	dec (%) 21.8
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 28 PARÁMETROS S. FIJO ECUADOR

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 896	d (%) 13	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2102.49	pg (€/kWh) 0.164	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 78.1	rpg (%) 2	il (%) 18.6
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1641.06	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 15.1
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 29 PARÁMETROS S. FIJO PERÚ

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 710	d (%) 22	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 1693.90	pg (€/kWh) 0.12	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 74.7	rpg (%) 2	il (%) 37.5
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1266.14	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 34	dec (%) 18.2
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 30 PARÁMETROS S. FIJO BRASIL

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1101	d (%) 5	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2176.78	pg (€/kWh) 0.14	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.1	rpg (%) 2	il (%) 3.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1678.89	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 40	dec (%) 10
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 31 PARÁMETROS S. FIJO EUA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 761	d (%) 5	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2071.24	pg (€/kWh) 0.11	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 79.1	rpg (%) 2	il (%) 4.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1638.09	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 7.3
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 32 PARÁMETROS S. FIJO ESPAÑA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 781	d (%) 5	Xl (%) 70
Hopt (kWh/m ² year) 1853.62	pg (€/kWh) 0.23	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 78.2	rpg (%) 2	il (%) 4.8
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 1449.45	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 31.4	dec (%) 7.8
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 0.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 33 PARÁMETROS S. FIJO ITALIA

TABLA 12 RESULTADOS SISTEMAS FIJOS DE PAÍSES EN ESTUDIO

Resultados económicos								
	Colombia	Ecuador	Perú	Brasil	EUA	España	Italia	México
NPV	616.15	183.98	816.35	-92.24	1560.22	1481.62	3173.92	3938.43
IRR	17.23	16.15	26.3	18.03	18.03	21.21	35.54	48.3
PI	1.53	1.21	1.91	0.87	2.42	2.95	5.06	5.55
PIM	53	21	91	-13	142	195	406	455
DPBT	9.03	12.85	5.27	5.73	5.87	5.05	3.06	2.34
Análisis Financiero								
WACC	10.37	12.75	13	21.98	4.76	4.3	4.64	7.45
Análisis de costo								
LCOE	8.21	7.71	6.31	10.49	3.45	2.77	3.16	3.56

TABLA 11 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY

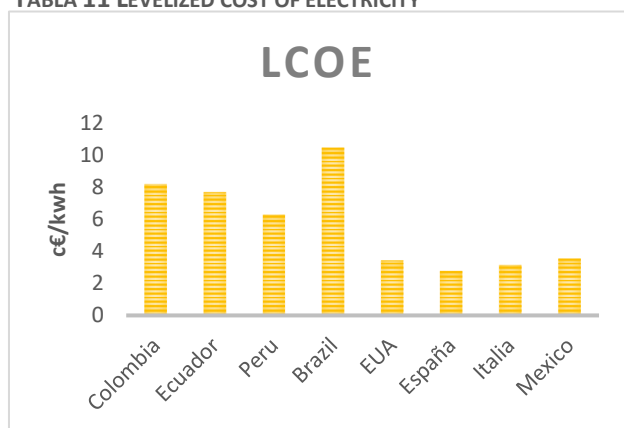


TABLA 12 NET CASH BALANCE

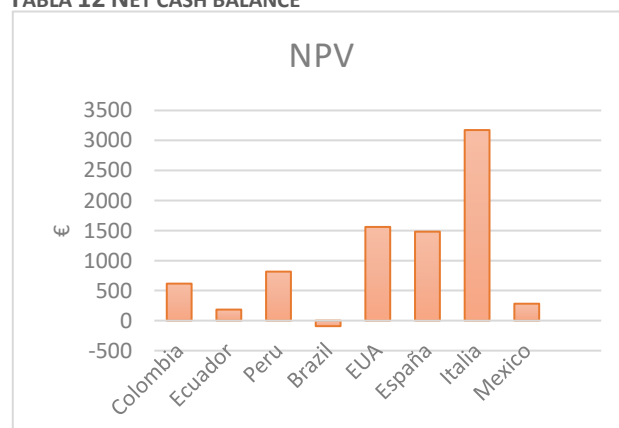


TABLA 13 PROFITABILITY INDEX

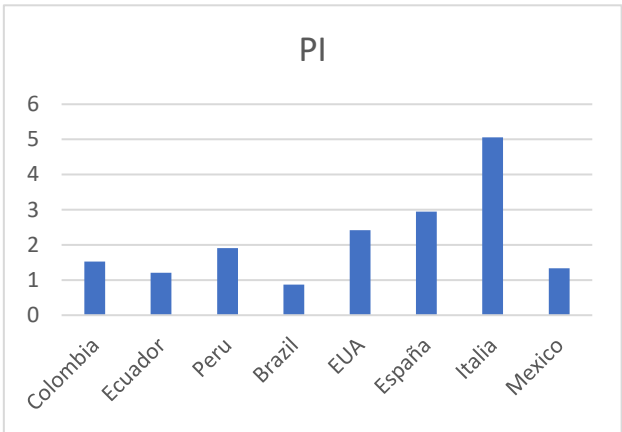


TABLA 14 PROFITABILITY INDEX MODIFIED

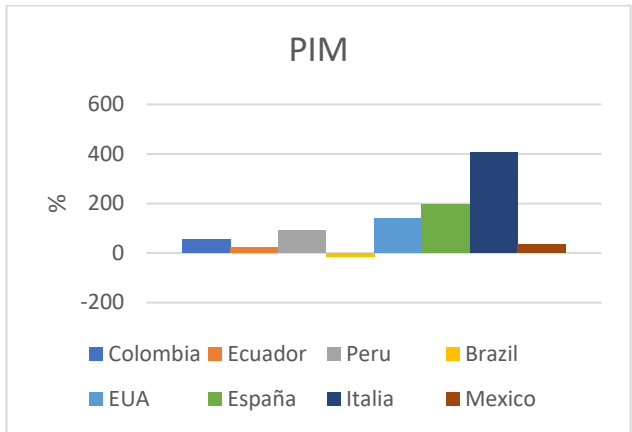


TABLA 15 DISCOUNTED PAYBACK TIME

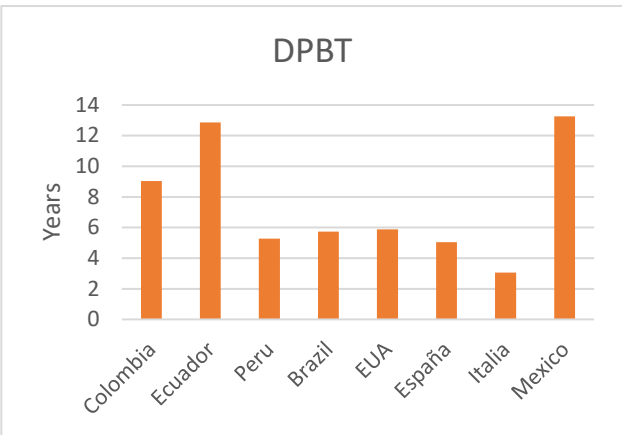


TABLA 16 WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL

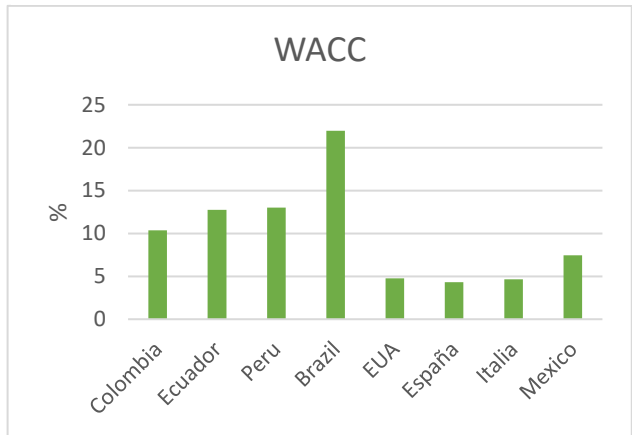


TABLA 17 INTERNAL RATE OF RETURN

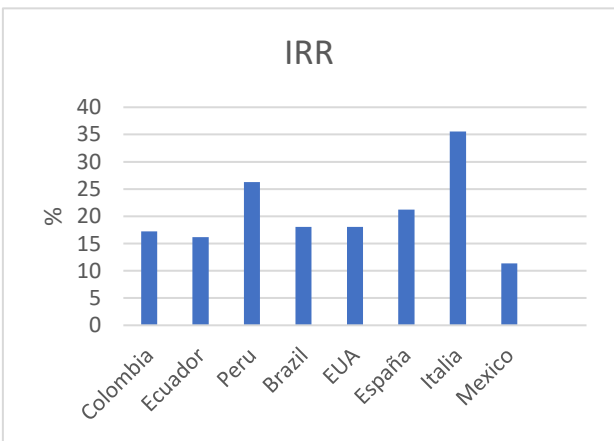


TABLA 18 NET CASH BALANCE

	COLOMBIA	ECUADOR	PERU	BRASIL	EUA	ESPAÑA	ITALIA	MÉXICO
YEAR	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB
1	80.67	32.76	115.99	-11.61	148.84	118.98	223.01	334.51
2	83.04	34.49	118.8	-10.13	150.92	120.85	226.44	339.91
3	85.45	36.24	121.65	-8.62	153.04	122.75	229.91	345.39
4	87.89	38.02	124.54	-7.09	155.19	124.68	233.43	350.95
5	90.36	39.82	127.47	-5.55	157.37	126.63	237.01	356.59
6	37.44	4.49	79.38	-49.84	75.9	85.24	194.04	312.95
7	39.99	6.34	82.4	-48.24	78.15	87.25	197.72	318.76
8	42.58	8.23	85.46	-46.62	80.43	89.29	201.46	324.66
9	45.21	10.14	88.58	-44.98	82.74	91.37	205.26	330.65
10	47.88	12.08	91.73	-43.31	85.09	93.47	209.11	336.72
11	50.58	14.05	94.94	-41.62	87.47	95.61	213.01	342.89
12	53.33	16.05	98.19	-39.9	89.89	97.78	216.98	349.15
13	56.12	18.08	101.5	-38.15	92.34	99.98	221	355.5
14	58.95	20.14	104.85	-36.38	94.83	102.21	225.09	361.94
15	61.82	22.23	108.25	-34.59	97.36	104.48	229.24	368.48
16	64.73	24.36	111.7	-32.76	99.92	106.78	233.44	375.12
17	67.69	26.51	115.21	-30.91	102.53	109.11	237.71	381.86
18	70.69	28.69	118.76	-29.03	105.17	111.48	242.05	388.7
19	73.74	30.91	122.37	-27.13	107.85	113.89	246.45	395.64
20	76.83	33.16	126.03	-25.19	110.57	116.33	250.91	402.68
21	168.51	106.92	219.14	101.27	160.38	154.65	293.19	452.48
22	171.69	109.23	222.94	103.27	163.18	157.16	297.79	459.74
23	174.93	111.59	226.75	105.29	166.03	159.71	302.46	467.1
24	178.21	113.98	230.63	107.34	168.91	162.3	307.2	474.58
25	-110.21	-105.85	10.58	-68.07	-103.4	-25.32	116.75	265.66

- Sistema de seguimiento solar a 1 eje 0°.

El seguimiento solar de 1 solo eje suele ser suficiente, dependiendo de la ubicación y la aplicación. Aquí, también, el rendimiento adicional del 31% es un logro excelente.

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1573	d (%) 10.5	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2308.22	pg (€/kWh) 0.15	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 76.6	rpg (%) 2	il (%) 11.8
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 1768.72	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 25	dec (%) 15.4
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 26 PARÁMETROS S. 1 EJE COLOMBIA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1295	d (%) 12.75	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2314	pg (€/kWh) 0.105	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.7	rpg (%) 2	il (%) 12.4
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 1798.25	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 22	dec (%) 21.8
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 27 PARÁMETROS S. 1 EJE ECUADOR

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1302	d (%) 13	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2641.71	pg (€/kWh) 0.164	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 76.6	rpg (%) 2	il (%) 18.6
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 2077.36	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 15.1
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 29 PARÁMETROS S. 1 EJE PERÚ

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1116	d (%) 22	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2386.59	pg (€/kWh) 0.12	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 75.8	rpg (%) 2	il (%) 37.5
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 1809.41	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 34	dec (%) 18.2
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 28 PARÁMETROS S. 1 EJE BRASIL

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1507	d (%) 4.8	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2667.53	pg (€/kWh) 0.14	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.9	rpg (%) 2	il (%) 3.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 2078.60	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 40	dec (%) 10
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 31 PARÁMETROS S. 1 EJE EUA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 1167	d (%) 4.5	Xi (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2487.57	pg (€/kWh) 0.11	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 79.8	rpg (%) 2	il (%) 4.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
Ei (kWh/year) 1984.53	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 7.3
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 30 PARÁMETROS S. 1 EJE ESPAÑA

Input parameters		
Technical parameters		
Cu (€/kWp)	1187	
Hopt (kWh/m ² year)	2209.17	
P (kWp)	1	
PR (%)	78.9	
rd (%)	0.5	
Ei (kWh/year)	1742.03	
N (years)	25	
SCI (%)	0	
Co&m (% of PVI)	1	
Economical parameters		
d (%)	4.7	
pg (€/kWh)	0.23	
ps (€/kWh)	0	
rpg (%)	2	
rps (%)	0	
rom (%)	1.4	
T (%)	31.4	
Nd (years)	5	
Xd (%)	100	
Financial parameters		
Xl (%)	70	
Xec (%)	25	
Xis (%)	5	
il (%)	4.8	
Nis (years)	5	
NI (years)	20	
dec (%)	7.8	

ILUSTRACIÓN 32 PARÁMETROS S. 1 EJE ITALIA

TABLA 13 RESULTADOS SISTEMAS A 1 EJE DE PAÍSES EN ESTUDIO

Resultados económicos								
	Colombia	Ecuador	Perú	Brasil	EUA	España	Italia	México
NPV	578.59	54.37	807.11	-232.73	1819.27	1670.83	3703.71	4782.3 €
IRR	15.39	13.4	22.28	16.84	16.06	16.62	28.5	41.85 %
PI	1.37	1.04	1.62	0.87	2.21	2.43	4.12	4.76
PIM	37	4	62	-13	121	143	312	376 %
DPBT	10.96	20.48	6.87	5.73	6.7	6.63	3.77	2.72 Years
Análisis Financiero								
WACC	10.37	12.75	13	21.98	4.76	4.3	4.64	7.45 %
Análisis de costo								
LCOE	9.4	9.12	7.71	10.49	4	3.59	4.16	4.36 c€/kwh

TABLA 14 NET CASH BALANCE A 1 EJE

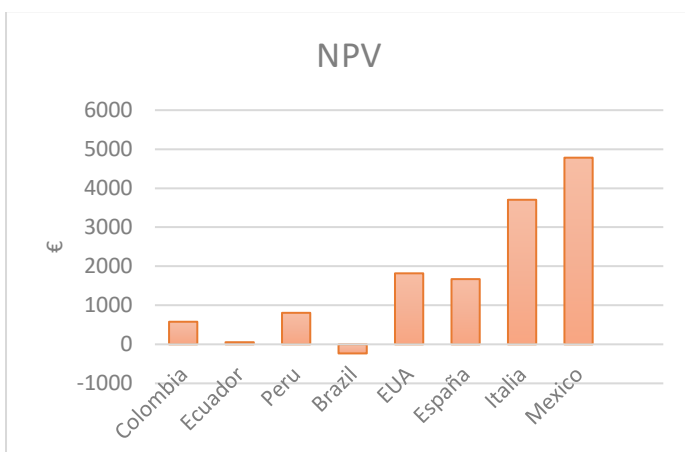


TABLA 15 INTERNAL RATE OF RETURN A 1 EJE

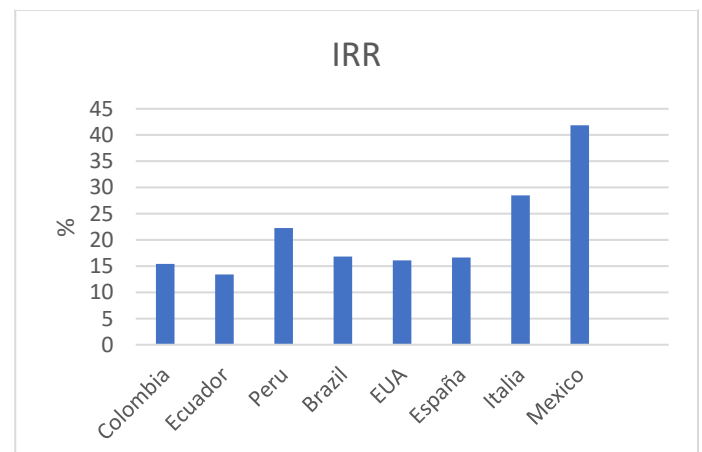


TABLA 17 PROFITABILITY INDEX A 1 EJE

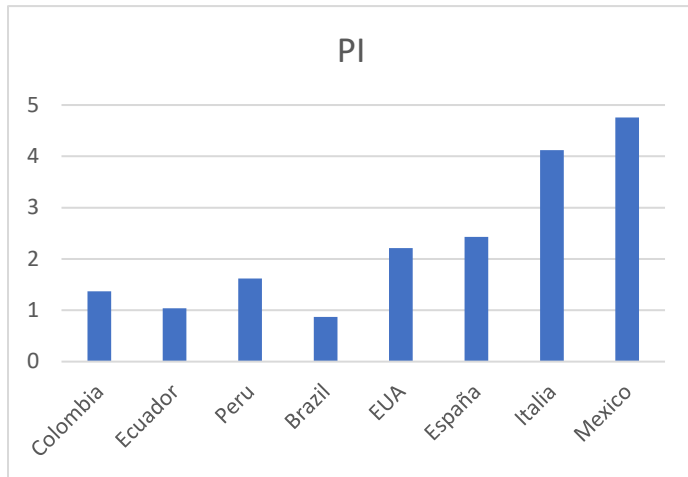


TABLA 16 PROFITABILITY INDEX MODIFIED A 1 EJE

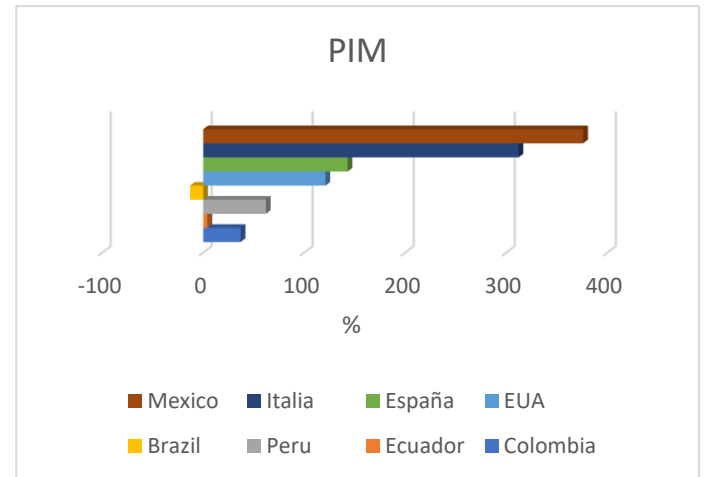


TABLA 19 DISCOUNTED PAYBACK TIME A 1 EJE

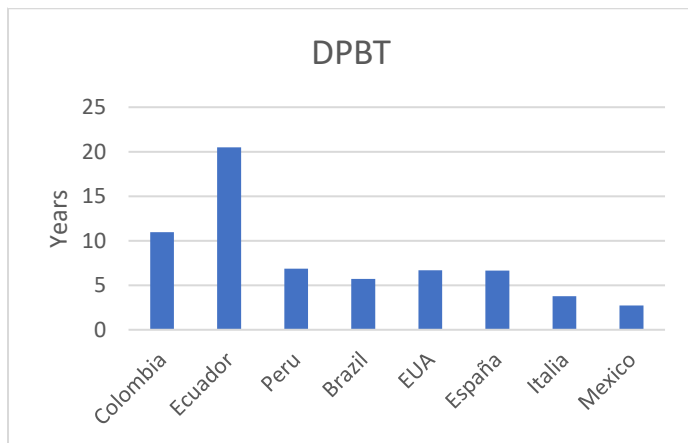


TABLA 18 WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL A 1 EJE

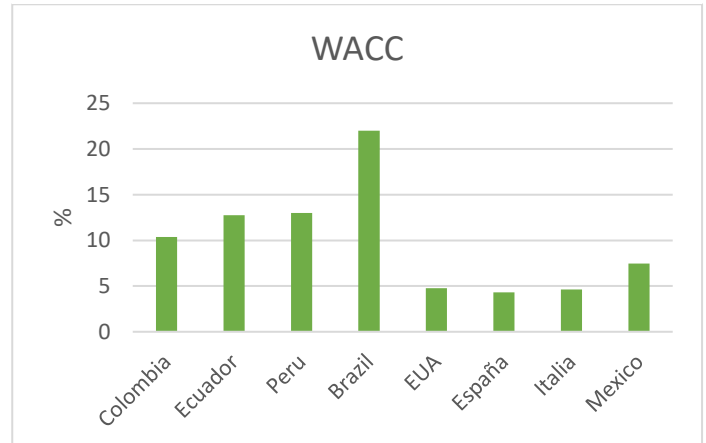


TABLA 20 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY A 1 EJE

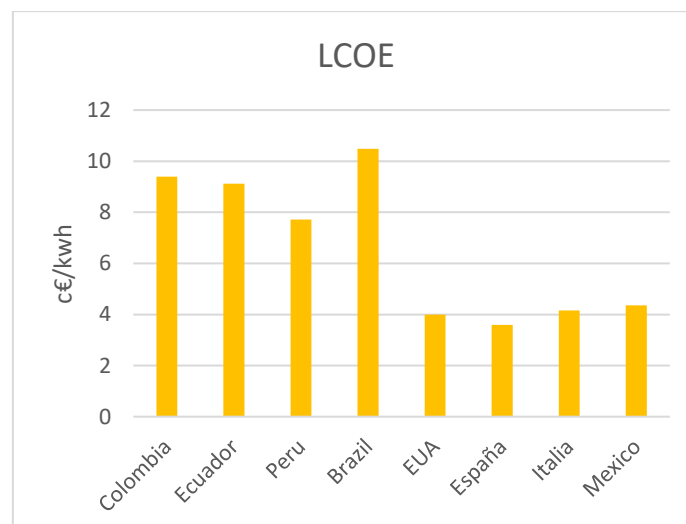


TABLA 21 NET CASH BALANCE A 1 EJE

	COLOMBIA	ECUADOR	PERU	BRASIL	EUA	ESPAÑA	ITALIA	MÉXICO
YEAR	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB
1	84.73	18.66	121.69	-36.44	180.45	137.11	261.15	412.3
2	87.57	20.74	125.07	-34.38	182.96	139.3	265.2	419.06
3	90.46	22.85	128.51	-32.28	185.51	141.53	269.3	425.91
4	93.38	25	131.99	-30.16	188.1	143.79	273.47	432.87
5	96.35	27.18	135.53	-28	190.72	146.09	277.69	439.93
6	24.65	-24.74	64.91	-97.91	78.86	81.9	211.17	374.59
7	27.71	-22.5	68.55	-95.69	81.56	84.26	215.52	381.86
8	30.81	-20.22	72.25	-93.43	84.31	86.66	219.94	389.24
9	33.97	-17.91	76	-91.15	87.09	89.1	224.42	396.73
10	37.16	-15.56	79.81	-88.82	89.92	91.57	228.98	404.33
11	40.41	-13.18	83.68	-86.47	92.79	94.08	233.6	412.05
12	43.71	-10.76	87.6	-84.08	95.7	96.63	238.29	419.88
13	47.05	-8.31	91.58	-81.65	98.66	99.21	243.04	427.83
14	50.44	-5.82	95.63	-79.18	101.66	101.83	247.87	435.89
15	53.89	-3.29	99.73	-76.68	104.71	104.5	252.78	444.08
16	57.39	-0.73	103.89	-74.15	107.8	107.2	257.75	452.39
17	60.93	1.87	108.12	-71.57	110.93	109.94	262.8	460.82
18	64.54	4.52	112.41	-68.57	114.12	112.73	267.93	469.38
19	68.19	7.2	116.76	-66.3	117.35	115.55	273.13	478.07
20	71.9	9.92	121.18	-63.61	120.63	118.42	278.41	486.88
21	195	116.79	255.56	134.82	188.35	176.29	341.14	558.48
22	198.82	119.59	260.11	137.59	191.73	179.24	346.57	567.56
23	202.7	122.44	264.73	140.41	195.16	182.24	352.09	576.78
24	206.64	125.32	269.42	143.27	198.64	185.28	357.69	586.13
25	-182.61	-195.49	-51.32	-132.83	-174.58	-103.38	66.63	277.62

- Sistema de seguimiento solar a 2 ejes, ángulo óptimo.

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2623	d (%) 10.05	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 3340.88	pg (€/kWh) 0.15	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 76.1	rpg (%) 2	il (%) 11.8
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 2545.80	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 15.4
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 34 PARÁMETROS S. 2 EJES COLOMBIA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2345	d (%) 12.8	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2368	pg (€/kWh) 0.105	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.3	rpg (%) 2	il (%) 12.4
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1832.29	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 22	dec (%) 21.8
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 33 PARÁMETROS S. 2 EJES ECUADOR

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2352	d (%) 13	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2779.34	pg (€/kWh) 0.164	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 78.1	rpg (%) 2	il (%) 18.6
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 2171.81	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 15.1
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 36 PARÁMETROS S. 2 EJES PERÚ

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2166	d (%) 22	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2588.78	pg (€/kWh) 0.12	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 75.6	rpg (%) 2	il (%) 37.5
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 1956.91	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 34	dec (%) 18.2
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 35 PARÁMETROS S. 2 EJES BRASIL

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2557	d (%) 4.8	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2985.81	pg (€/kWh) 0.14	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 77.4	rpg (%) 2	il (%) 3.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 2311.77	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 40	dec (%) 10
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 38 PARÁMETROS S. 2 EJES EUA

Input parameters		
Technical parameters	Economical parameters	Financial parameters
Cu (€/kWp) 2217	d (%) 4.5	XI (%) 70
Hopt (kWh/m2 year) 2832.12	pg (€/kWh) 0.11	Xec (%) 25
P (kWp) 1	ps (€/kWh) 0	Xis (%) 5
PR (%) 79.5	rpg (%) 2	il (%) 4.3
rd (%) 0.5	rps (%) 0	Nis (years) 5
EI (kWh/year) 2252.25	rom (%) 1.4	NI (years) 20
N (years) 25	T (%) 30	dec (%) 7.3
SCI (%) 0	Nd (years) 5	
Co&m (% of PVI) 1.5	Xd (%) 100	

ILUSTRACIÓN 37 PARÁMETROS S. 2 EJES ESPAÑA

Input parameters		
Technical parameters		
Cu (€/kWp)	2237	
Hopt (kWh/m2 year)	2482.65	
P (kWp)	1	
PR (%)	78.6	
rd (%)	0.5	
EI (kWh/year)	1952.65	
N (years)	25	
SCI (%)	0	
Co&m (% of PVl)	1.5	
Economical parameters		
d (%)	4.7	
pg (€/kWh)	0.23	
ps (€/kWh)	0	
rpg (%)	2	
rps (%)	0	
rom (%)	1.4	
T (%)	31.4	
Nd (years)	5	
Xd (%)	100	
Financial parameters		
Xl (%)	70	
Xec (%)	25	
Xis (%)	5	
il (%)	4.8	
Nis (years)	5	
Nl (years)	20	
dec (%)	7.8	

ILUSTRACIÓN 39 PARÁMETROS S. 2 EJES ITALIA

TABLA 22 RESULTADOS SISTEMAS A 2 EJES DE PAÍSES EN ESTUDIO

Resultados económicos								
	Colombia	Ecuador	Perú	Brasil	EUA	España	Italia	México
NPV	438.72	-957.95	-9.66	-	1232.1	994.59	3251.85	4344 €
				1089.43				
IRR	12.36	5.61	12.93	8.41	9.93	8.94	17.21	25.98 %
PI	1.17	0.59	1	0.5	1.48	1.45	2.45	2.87
PIM	17	-41	0	-50	48	45	145	187 %
DPBT	15.44	20.91	25.69	14.06	11.9	13.32	6.38	4.46 Years
Análisis Financiero								
WACC	10.04	12.75	13	21.98	4.76	4.3	4.64	7.45 %
Análisis de costo								
LCOE	10.47	9.2	13.42	21.49	6.51	6.43	7.49	7.66 c€/kwh

TABLA 24 NET CASH BALANCE A 2 EJES

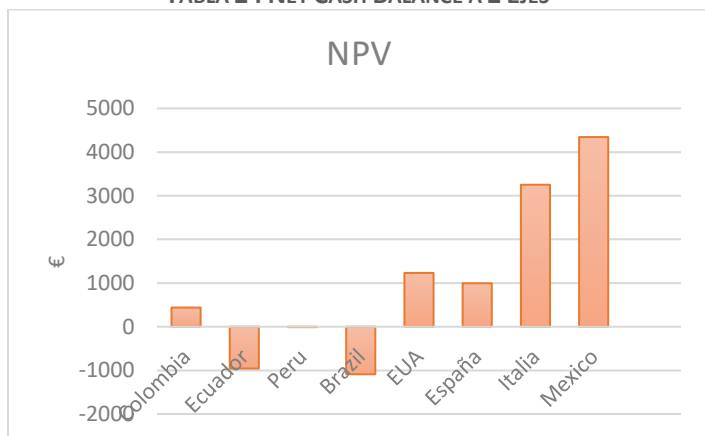


TABLA 23 INTERNAL RATE OF RETURN A 2 EJES

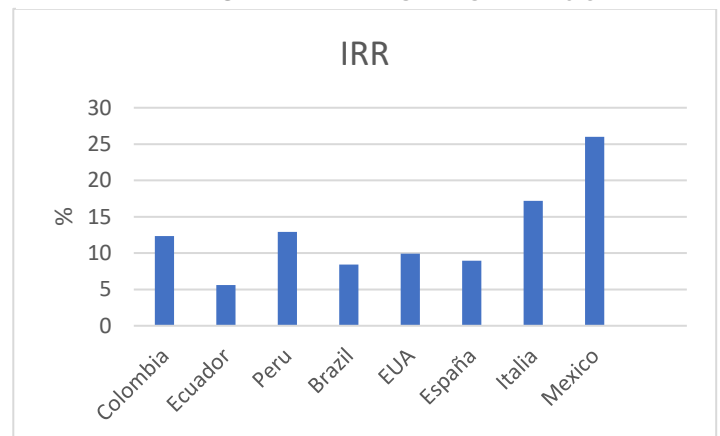


TABLA 26 PROFITABILITY INDEX A 2 EJES

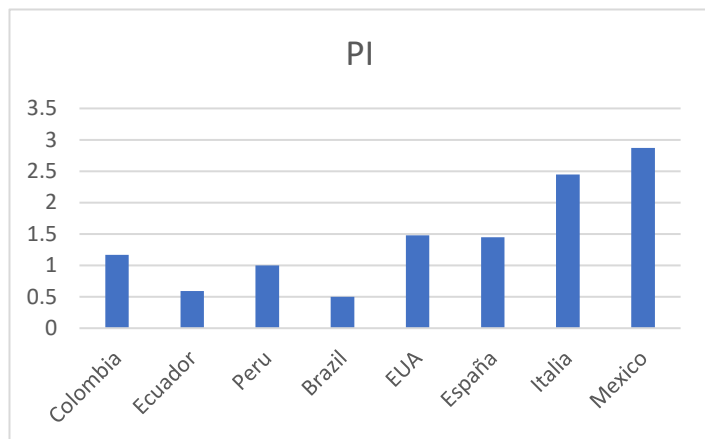


TABLA 25 PROFITABILITY INDEX MODIFIED A 2 EJES

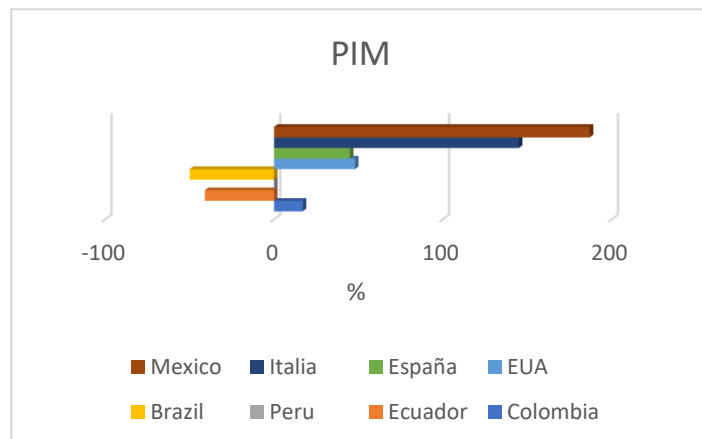


TABLA 27 DISCOUNTED PAYBACK TIME A 2 EJES

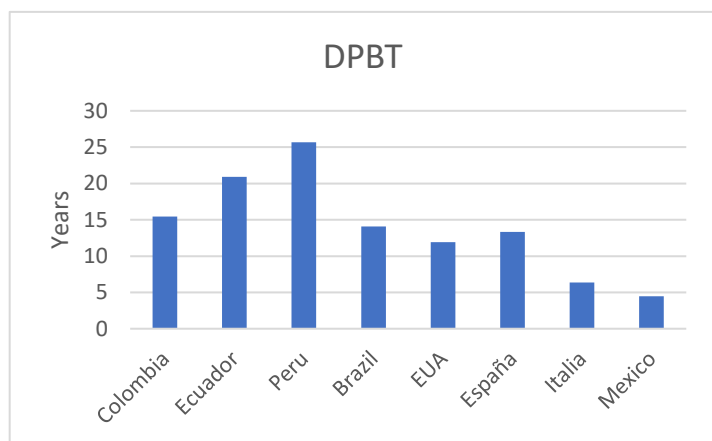


TABLA 28 WEIGHTED AVERAGE COST OF CAPITAL A 2 EJES

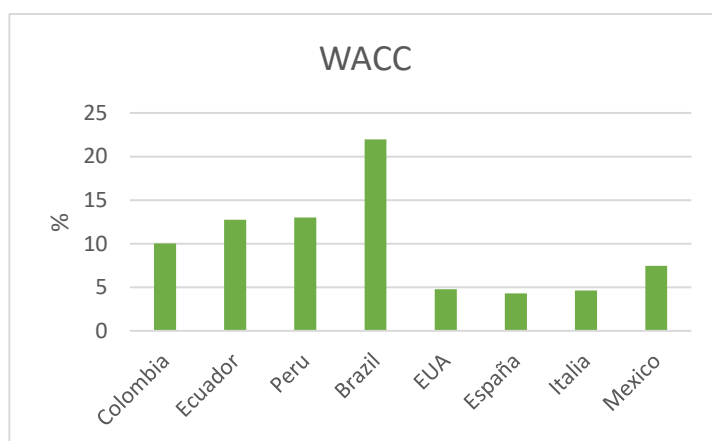


TABLA 29 LEVELIZED COST OF ELECTRICITY A 2 EJES

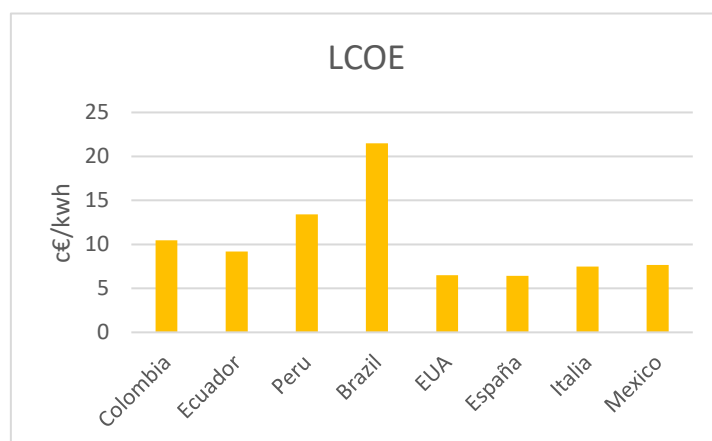


TABLA 30 NET CASH BALANCE A 2 EJES

	COLOMBIA	ECUADOR	PERU	BRASIL	EUA	ESPAÑA	ITALIA	MÉXICO
YEAR	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB	NCB
1	100.89	-93.96	38.49	-202.88	194.84	133.85	270.85	406.95
2	104.53	-92.09	41.9	-200.84	197.45	136.14	275.18	414.14
3	108.23	-90.18	45.37	-198.77	200.09	138.46	279.57	421.43
4	111.99	-88.25	48.89	-196.67	202.78	140.82	284.03	428.83
5	115.8	-86.28	52.47	-194.53	205.51	143.22	288.56	436.34
6	-29.84	-182.31	-77.97	-332.29	13.95	19.28	159.69	311.61
7	-25.91	-180.29	-74.29	-330.09	16.76	21.75	164.35	319.35
8	-21.93	-178.23	-70.55	-327.86	19.61	24.26	169.09	327.2
9	-17.88	-176.15	-66.76	-325.6	22.51	26.8	173.89	335.17
10	-13.77	-174.03	-62.91	-323.3	25.44	29.38	178.77	343.26
11	-9.61	-171.88	-59	-320.97	28.43	32	183.71	351.47
12	-5.37	-169.7	-55.03	-318.6	31.46	34.66	188.74	359.8
13	-1.08	-167.49	-51.01	-316.2	34.53	37.36	193.83	368.26
14	3.28	-165.24	-46.92	-313.76	37.65	40.1	199.01	376.85
15	7.7	-162.96	-42.78	-311.28	40.82	42.89	204.26	385.56
16	12.19	-160.65	-38.57	-308.77	44.03	45.71	209.59	394.4
17	16.75	-158.3	-34.29	-306.22	47.29	48.57	215	403.37
18	21.38	-155.91	-29.96	-303.63	50.6	51.48	220.49	412.48
19	26.07	-153.49	-25.56	-301	53.96	54.44	226.06	421.73
20	30.84	-151.03	-21.09	-298.33	57.38	57.43	231.72	431.11
21	226.32	39.98	218.1	84.19	170.09	164.88	345.58	555
22	231.23	42.51	222.7	86.94	173.61	167.97	351.41	564.67
23	236.21	45.08	227.37	89.73	177.17	171.1	357.32	574.48
24	241.27	47.69	232.11	92.57	180.79	174.29	363.33	584.43
25	-409.34	-535.91	-351.07	-446.06	-454.78	-376.73	-189.83	14.04

Se puede observar en las gráficas de resultados que nuestros países con mejores resultados esta entre Mexico, Italia, España y Brasil. Esto debido a los costes de la energía que maneja cada uno de estos países y el coste de la instalación de los sistemas solares con seguimiento en diferente en cada uno, este último dato es el que tiene el mayor impacto en los resultados antes mostrados. Y si, como bien sabemos y como bien lo he venido diciendo a lo largo del proyecto, el coste de una instalación con movimiento implica un gasto considerablemente alto, al hablar de esto tenemos que ser conscientes que para tener un retorno de inversión de un sistema a dos ejes será mayor el tiempo versus obtener el retorno de inversión de un sistema fijo con un ángulo optimo. Es por ello que nuestros resultados varían y aumentan los años de amortización con forme cambiamos de sistema.

Los resultados antes plasmados son muy variables entre los mismos países, para pasar a hablar acerca de los resultados mostrados en las gráficas y tablas antes plasmadas es necesario ir hablando de cada uno de los valores y saber cuál de los países resulto ser el mejor, para empezar en el sistema fijo a un ángulo optimo, el país con el mejor valor actual neto es México con un valor de 3938.43€ siendo el peor Brasil con -92.24, una tasa interna de retorno muy beneficiosa para México de igual manera con el 48.3%, el índice de rentabilidad del 5.55, igual se puede ir considerado un proyecto aceptable y con buenos beneficios a favor de México por consecuente seria Italia. Se cuenta con un índice de rentabilidad modificado del 455%, dando un resultado de plazo de recuperación con descuento de 2.34 años. Teniendo un costo de capital promedio de un 7.45%. Estos valores son debido a los costos de kWh ya que en México estamos representando un costo de 0.28 €/kWh el cual es un precio muy bueno para el mercado y esto vuelve rentable nuestro sistema fijo, por consecuente obtendremos una recuperación de inversión en un corto tiempo.

Ya que los costes de la electricidad en otros países son diferentes tenemos los resultados muy variables entre los países en cuestión, es por eso que algunos sistemas no son aptos para llevarse a cabo en ciertos países, de igual manera el implementar un sistema solar atrae muchas bondades a nuestro ecosistema y por igual a nuestra economía, pero en ocasiones económicamente hablando un sistema no es viable, esto debido al alto costo de instalación de un sistema solar con movimiento y bajo costo de la energía.

Como se puede ver en el sistema a un eje sigue siendo mucho mas rentable instalar un sistema de un eje de 1 kWp en México que en otro país de los que manejamos en el estudio, ya que para un eje el costo de la instalación se incrementa de un 30% a 40% se va a requerir un poco mas de tiempo para poder amortizar este gasto extra. Ya que en México el tiempo de amortización ronda entre los 2.72 años a diferencia de Italia con 3.77 años y España con 6.63años.

En cuanto al sistema de 2 ejes, el costo es mas elevado ya que este se incremento aproximadamente un 160% a diferencia del sistema fijo a ángulo optimo. Sin embargo, el retorno de inversión a 4.46 años y el índice de rentabilidad con 187% son los valores del país mas viable que es México al igual que en los otros sistemas. Volviendo a recalcar que esto es debido al costo de la electricidad que se maneja en este país con un precio de 0.28 €/kWh. Ya que para este sistema los valores de España rondan en un retorno de inversión de 13.32 años y un índice de rentabilidad del 45%. Sin mas y con los resultados obtenidos nos damos cuenta que el mejor país de este estudio resulto ser México con Italia y España siguiéndole.

CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE TRABAJO

La conclusión fundamental que podemos obtener de este trabajo es que las instalaciones que brindan toda la energía generada a la red, concretamente las que funcionan con energía solar fotovoltaica, son una alternativa factible tecnológica y económicamente viable. Mas en el contexto actual donde la contaminación y la energía eléctrica convencional están en aumento. Es por eso que, al producir electricidad por medio de paneles solares, se reduce el consumo de combustibles fósiles que son utilizados en la actualidad para la producción de electricidad, de esta manera se deja de arrojar una cantidad importante de gases contaminantes al medio ambiente, reduciendo en una forma apropiada el crecimiento del efecto invernadero.

El análisis técnico económico que se realizó en el presente TFM fue meramente analítico, puesto que el estar utilizando 1 kWp para una instalación que estará vertiendo energía eléctrica a la red nos da resultados muy variables. Según nuestros objetivos principales, el sistema que más generación eléctrica tiene es el SSFV a 2 ejes, esto es debido a que el sistema siempre está en búsqueda del sol siendo constante la radiación captada, constante en cuestión del transcurso de las horas solares, sin desaprovechar ni una sola, a menos que sea por cuestiones climáticas.

En cuestión del índice de rentabilidad, en algunos países el sistema que es más rentable es el SSFV de 1 eje, puesto que el principal factor que denomina nuestra rentabilidad es el costo unitario entre el costo de mantenimiento y obviamente la energía genera, teniendo en cuenta que un SSFV con más tecnología, en este caso el de 2 ejes, tiene un costo unitario mayor al resto y debido a la capacidad vertida a la red la viabilidad de este sistema queda por debajo de nuestras expectativas.

En definitiva, podemos considerar, a la vista de los datos con los que contamos, que la producción de energía solar fotovoltaica, además de contribuir a la diversificación energética con energía limpia, es una alternativa rentable económicamente, debido a que en todos los sistemas se encuentran por arriba de los márgenes de viabilidad para poder llevarse a cabo, al fin de la vida útil del sistema generar cierta ganancia económica, después de haber alcanzado un tiempo de recuperación de inversión.

Convendría realizar una instalación con mayor capacidad de generación eléctrica y así poder inyectar a la red una cantidad que sea gratificante económicamente hablando, sin dejar de considerar que el costo unitario de una instalación mucho mayor a las ya analizadas estará muy por arriba.

Definitivamente el uso e implementación de esta energía trae consigo beneficios tanto medioambientales, educativos, económicos y sociales. Pero también es cierto que el costo y la mantención permanente de los sistemas fotovoltaicos y otras modalidades de

uso, requiere grandes inversiones. Sólo continuando la investigación podremos reducir costos en lo que compete a su permanencia.

Aprovechar el enorme potencial de la energía solar fotovoltaica es esencial para alcanzar los objetivos climáticos. Esto solo es posible con la mitigación de las barreras que existen actualmente en distintos ámbitos (normativo; de mercado y económico; tecnológico; reglamentario, político y social). La integración en la red y la flexibilidad de la red, las economías de escala, el acceso a financiación, la ausencia de normas y medidas de calidad, y la sensibilización de los consumidores figuran entre las principales barreras que podrían entorpecer el despliegue de los sistemas solares fotovoltaicos en los próximos años. La mitigación inmediata de las barreras existentes, a través de una serie de políticas de apoyo y medidas de ejecución, como bien podrían ser los modelos de negocio innovadores e instrumentos financieros ya que estos podrían resultar decisivos para impulsar el desarrollo de los sistemas solares fotovoltaicos en el futuro con el fin de propiciar la transición hacia un futuro energético bajo en carbono y sostenible.

Con la implementación de estos sistemas independientemente de que tipo sea, fijo, a un eje o a dos ejes, estamos cumpliendo con los objetivos climáticos en varios países, ya que la energía solar fotovoltaica pasara a ser la segunda fuente de generación eléctrica más importante, solo por detrás de la energía eólica, y así mismo pasara a marcar la senda de la transformación del sector eléctrico global.

BIBLIOGRAFIA

- [31] Trading Economics, Spain - Lending interest rate, (2018).
<https://tradingeconomics.com/spain/lending-interest-rate-percent-wb-data.html> (accessed July 23, 2018).
- [32] Trading Economics, Saudi Arabia Interest Rate, (2018).
<https://tradingeconomics.com/saudi-arabia/interest-rate> (accessed July 23, 2018).
- [33] The World Bank, Lending interest rate (%), (2018).
<https://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.LEND?view=chart> (accessed July 23, 2018).
- [66] World Bank. Lending interest rate 2015; Available at: <http://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.LEND> (accessed January 2015).
- [30] TheGlobalEconomy.com, Return on equity - country rankings, (2018).
www.theglobaleconomy.com/rankings/bank_return_equity/ (accessed July 23, 2018).
- [58] CDM Executive Board. Guidelines on the assessment of investment analysis.. Bonn: UNFCCC Secretariat 2011; Available at: https://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/reg/reg_guid03.pdf (accessed January 2015).
- [67] Dimson E, Marsh P, Staunton M. Equity Premiums around the World. Research Foundation Publications 2011:32-35. Available at: <http://www.cfapubs.org/doi/pdf/10.2470/rf.v2011.n4.5> (accessed January 2015).
- [34] The World Bank, Inflation, consumer prices (annual %), (2018).
<https://data.worldbank.org/indicator/FP.CPI.TOTL.ZG?locations=ES&view=chart> (accessed July 23, 2018).
- [35] Trading Economics, Inflation Rate - Countries - List, (2018).
<https://tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate> (accessed July 23, 2018).
- [64] Trading Economics. Inflation Rate -Countries- List 2015; Available at: <http://www.tradingeconomics.com/country-list/inflation-rate> (accessed January 2015):2015.
- [63] European Central Bank. Inflation in the Euro area 2014; Available at: <http://www.ecb.europa.eu/stats/prices/hicp/html/inflation.en.html> (accessed July 2014).
- [36] Banco Santander, Fiscalidad en España, (2018).
<https://es.portal.santandertrade.com/establecerse-extranjero/espana/fiscalidad> (accessed July 23, 2018).
- [68] World Bank Group. Doing Business: Paying Taxes 2014;2015; Available at: <http://www.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/spain/#paying-taxes> (accessed January 2015).
- [69] Banco Santander. Portal Santander Trade 2015; Available at: <https://es.santandertrade.com/establecerse-extranjero/espana/fiscalidad> (accessed January 2015).

- [70] Ernst & Young Global Limited. Worldwide Corporate Tax Guide 2014 2014; EYG no. DL0917: Available at: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Worldwide_corporate_tax_guide_2014/\\$FILE/Worldwide%20Corporate%20Tax%20Guide%202014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Worldwide_corporate_tax_guide_2014/$FILE/Worldwide%20Corporate%20Tax%20Guide%202014.pdf) (accessed January 2015).
- [41] Eurostat. European Commission, Energy statistics - prices of natural gas and electricity, (2018). <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database> (accessed July 23, 2018).
- [42] U.S. Energy Information Administration, Electricity data browser - Average retail price of electricity, (2018). <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/#/topic/7?agg=2,0,1&geo=g&freq=M> (accessed July 23, 2018).
- [50] Gestore Mercati Energetici (GME). Summary Data - MPE-MGP – Overview. <http://www.mercatoelettrico.org/En/Statistiche/ME/DatiSintesi.aspx>; (accessed December 2015).
- [51] Nord Pool Spot. Market data. <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table>; (accessed December 2015).
- [52] ACER / CEER. Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2014.; http://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER_Market_Monitoring_Report_2015.pdf (accessed December 2015).
- [53] OMI-polo Español SA(. <http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>; (accessed December 2015).
- [54] European power exchange (EPEX). Prices, volumes and statistics: the markets' core figures at a glance.; <http://www.epexspot.com/en/> (accessed December 2015).
- [55] U.S. Energy Information Administration. Wholesale Electricity and Natural Gas Market Data 2014; <http://www.eia.gov/electricity/wholesale/index.cfm> (accessed September 2014).
- [56] European Photovoltaic Industry Association. Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector: On the road to competitiveness 2011; Available at: http://helapco.gr/pdf/tn_jsp.pdf (accessed December 2015).
- [57] IRENA - Renewable costs 2020.: <https://infogram.com/renewable-costs-2020-infographic-1h7k230d0vdeg2x?live>