



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

# Impulso del autoconsumo solar fotovoltaico mediante la tokenización de emisiones de CO2.

Autor: Juan Sebastián Macías Díaz

Tutor: Cristian Fábrega

Curso Académico: 2021-2022

## Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



Barcelona  
Knowledge  
Campus



Health Universitat  
de Barcelona  
Campus



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi familia en primera medida, que siempre han estado presentes apoyando cada una de mis decisiones. A mis padres Hugo y Alexandra por su amor incondicional, a mis hermanos Felipe y Hugo por su ayuda, a mi novia Natalia por su compañía en esta etapa. A mis compañeros de Máster, que me han hecho de los estudios algo más llevadero y fácil. A mis profesores, quienes han impartido sus enseñanzas para adquirir los conocimientos requeridos y a mi tutor Cristian Fábrega por su disposición y guía.



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5
<b>1 GENERALIDADES DEL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA.....</b>	<b>6</b>
1.1 ¿QUÉ ES EL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO? .....	7
1.2 TIPOS DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO.....	9
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO. ...	9
<b>2 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN Y LOS TOKENS DE UTILIDAD. 11</b>	
2.1 TOKENS DIGITALES.....	13
2.2 CONTRATOS INTELIGENTES Y APLICACIONES. ....	13
2.3 PROPUESTA DE TRABAJO. ....	15
<b>3 TOKENIZACIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO. ....</b>	<b>16</b>
3.1 CALCULO DE RADIACIÓN SOLAR Y MODELO METEROLÓGICO. ....	16
3.2 PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN. ....	16
3.3 DISEÑO Y SIMULACIÓN .....	19
3.4 CÁLCULO DE GENERACIÓN DE TOKENS.....	21
<b>4 PROPUESTA DE VALOR E INTERCAMBIO DE TOKENS .....</b>	<b>23</b>
CONCLUSIONES .....	26
REFERENCIAS.....	27



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Potencia de autoconsumo FV instalada en España. ....	6
<b>Figura 2.</b> Potencia fotovoltaica instalada en plantas de suelo por Comunidad Autónoma, 2020. ....	7
<b>Figura 3.</b> Mix de generación eléctrica en España, 2020. ....	8
<b>Figura 4.</b> Tipos de autoconsumo. ....	9
<b>Figura 5.</b> Pasos básicos en el funcionamiento de la blockchain. ....	12
<b>Figura 6.</b> Ciclo de vida de un smart contract.....	14
<b>Figura 7.</b> Usos de los smart contracts. ....	15
<b>Figura 8.</b> Distribución de irradiación incidente con módulos ubicados hacia el sur.....	17
<b>Figura 9.</b> Distribución de irradiación incidente con módulos ubicados hacia el norte..	17
<b>Figura 10.</b> Características de modulo solar fotovoltaico.....	18
<b>Figura 11.</b> Curva I vs V para panel Axitec. ....	19
<b>Figura 12.</b> Datos del inversor. ....	19
<b>Figura 13.</b> Usos para tokens de CO2. ....	24
<b>Figura 14.</b> Potencial ahorro fotovoltaico. ....	242

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los tokens digitales. Traducido por Juan Macías. ....	13
<b>Tabla 2.</b> Datos de irradiancia global y difusa, temperatura ambiente. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Resultados principales PVSYST. ....	20

## LISTA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Cálculo de ahorro de emisiones de CO2 .....	21
<b>Ecuación 2.</b> Cálculo de energía producida por capacidad instalada.....	21



## INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es un método de generación de energía eléctrica que aprovecha la radiación proveniente del Sol para generar electricidad mediante el efecto fotovoltaico que ocurre en materiales semiconductores que conforman una celda fotovoltaica. Esta tecnología se ha desarrollado de forma considerable desde principios del siglo XXI, ocasionando una disminución en su coste y una escalabilidad en su producción que han llevado a optar a los distintos países a adoptarla al ser la forma más barata para obtener energía en la actualidad. Por ende, se opta por el autoconsumo mediante paneles fotovoltaicos como una de las principales herramientas que existen para combatir la crisis climática actual y lograr la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, al reemplazar la generación de energía eléctrica mediante combustibles fósiles por generación renovable gracias a la radiación solar.

A pesar de encontrarse planteados los objetivos para la lucha contra el cambio climático y de tenerse la evidencia científica de las gravísimas consecuencias que conllevaría el incumplimiento de dichos objetivos para el planeta, el nivel de adopción de la tecnología de autoconsumo energético de fuentes renovables sigue siendo bajo. Sin embargo, el gobierno español ha optado por impulsar el autoconsumo solar como una forma de atacar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero emitidos y contribuir a los objetivos climáticos establecidos por la Unión Europea. A pesar de este impulso, sigue faltando conocimiento sobre el funcionamiento de la tecnología e incentivos que impulsen a la gente a realizar la inversión en sus viviendas y disminuir su huella de carbono.

Es por ello por lo que se plantea este trabajo, explorando la forma como los tokens de utilidad, impulsados por la digitalización de las economías y las sociedades, pueden servir para incrementar la adopción de las tecnologías de autoconsumo y, en particular la más usada en la actualidad, la energía solar fotovoltaica residencial y a pequeña escala. Para ello se propondrá un estudio de generación de token con base al cálculo del ahorro en las emisiones de dióxido de carbono y cómo dicho token puede integrarse al mercado de emisiones del futuro, en donde se prevé que cada vez se incrementen más los precios asociados a impuestos al CO<sub>2</sub> con el objetivo de disminuir la cantidad de emisiones que los distintos actores realizan para mantener la calidad de vida que conocemos actualmente.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar una propuesta que incentive la adopción de tecnología solar fotovoltaica para autoconsumo residencial y comercial mediante tokens de utilidad que representen toneladas equivalentes de emisiones de dióxido de carbono.

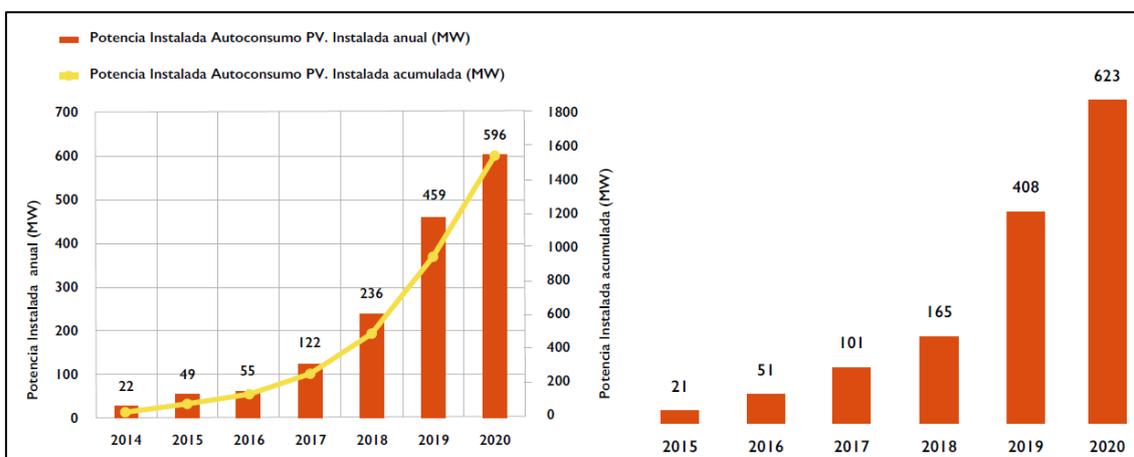
### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Visualizar la hoja de ruta del autoconsumo fotovoltaico en España como herramienta para el cumplimiento de los objetivos en la lucha contra el cambio climático.
- Realizar el cálculo de ahorro en emisiones que puede representar una adopción de la tecnología solar fotovoltaica a pequeña escala.
- Estudiar cómo la tecnología blockchain puede aportar a la tokenización de emisiones de dióxido de carbono.
- Realizar una propuesta de valor que incluya la tecnología blockchain como incentivo para incrementar la potencia instalada de energía solar fotovoltaica en España.

## 1 GENERALIDADES DEL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA.

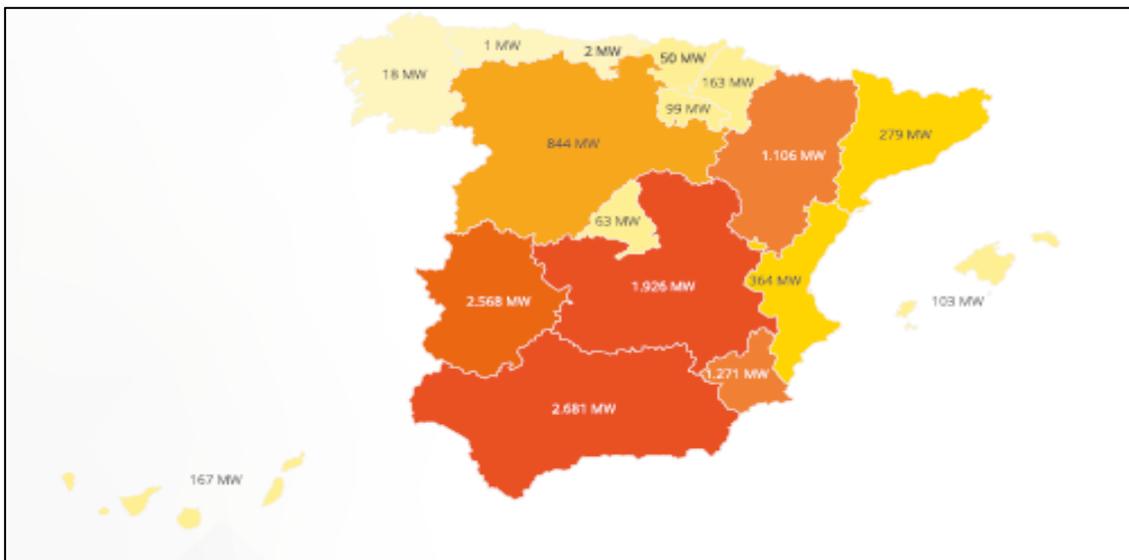
España es uno de los países con mayor cantidad de horas solares en Europa, debido a su ubicación en el globo terrestre. Estas horas solares alcanzan las 2500 horas anuales de media y varían dependiendo la comunidad autónoma. Basado en este dato, el gobierno español ha impulsado el autoconsumo solar como mecanismo clave en la búsqueda de la transición energética con el fin último de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. El objetivo es alcanzar los 9GW de potencia instalada en 2030, con la posibilidad de ser 14GW en caso de un escenario de alta penetración. [1]

En la **Figura 1** se muestra la potencia de autoconsumo fotovoltaico instalado en España desde el 2014 hasta el 2020. Se puede observar la tendencia ascendente en los últimos años y cómo alcanzar un objetivo de 9GW instalados para el 2030 es bastante ambicioso, ya que representa incrementar la potencia instalada del año 2020 en 15 veces si se utilizara únicamente esta tecnología. Sin embargo, hay que contemplar que existen otros mecanismos para el autoconsumo como pueden ser la energía eólica o las calderas de biomasa, que probablemente a medida que se incremente su adopción contribuirán su parte para lograr el objetivo, pero que hoy en día no representan un valor considerable en la cantidad de potencia instalada. Según la UNEF, el autoconsumo solar fotovoltaico tuvo un incremento de 1203MW de potencia instalada durante el 2021, lo que supone un crecimiento de 101% comparado con el 2020. De esta potencia el 32% corresponde al sector residencial, 41% corresponde al sector industrial y un 26% corresponde al sector comercial [7]. Se puede observar en esta figura el impacto que tuvo la derogación del impuesto al Sol en el año 2018, un peaje que le imponía al consumidor pagar por generar su propia energía. Gracias a la eliminación de este impuesto, la capacidad instalada se disparó en el año 2019 y sigue en aumento en la actualidad.



**Figura 1.** Potencia de autoconsumo FV instalada en España. [1]

En la **Figura 2** se puede visualizar la potencia instalada durante el año 2020 en las diferentes comunidades autónomas de plantas fotovoltaicas de suelo. Destaca el potencial de instalación de la zona sur del país, por ser la que mayor cantidad de radiación solar posee. Comunidades autónomas como Andalucía, Castilla La Mancha y Extremadura representan las zonas en donde las medidas locales han contribuido de forma más eficiente a la promoción de la tecnología solar fotovoltaica, incurriendo en la generación de actividad económica asociada a este sector. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer para que la tecnología solar fotovoltaica y el autoconsumo sean las principales fuentes de generación eléctrica en el país. En la **Figura 3** se puede observar el mix en la generación de energía para el año 2020. La energía solar fotovoltaica se encuentra aún muy lejos de ser la principal fuente de producción de energía, ya que solo abarcaba un total de 6,2% de la matriz, en gran medida por las instalaciones a gran escala. Es por ello por lo que el campo de acción que existe para esta tecnología es inmenso y su potencial aún está por verse, más incluso desde la parte de autoconsumo solar fotovoltaico. Al impulsar esta tecnología desde el punto de vista residencial e industrial a pequeña escala, se logrará un impacto y disminución en las emisiones generadas por la matriz eléctrica y se reducirá la huella de carbono de los individuos.

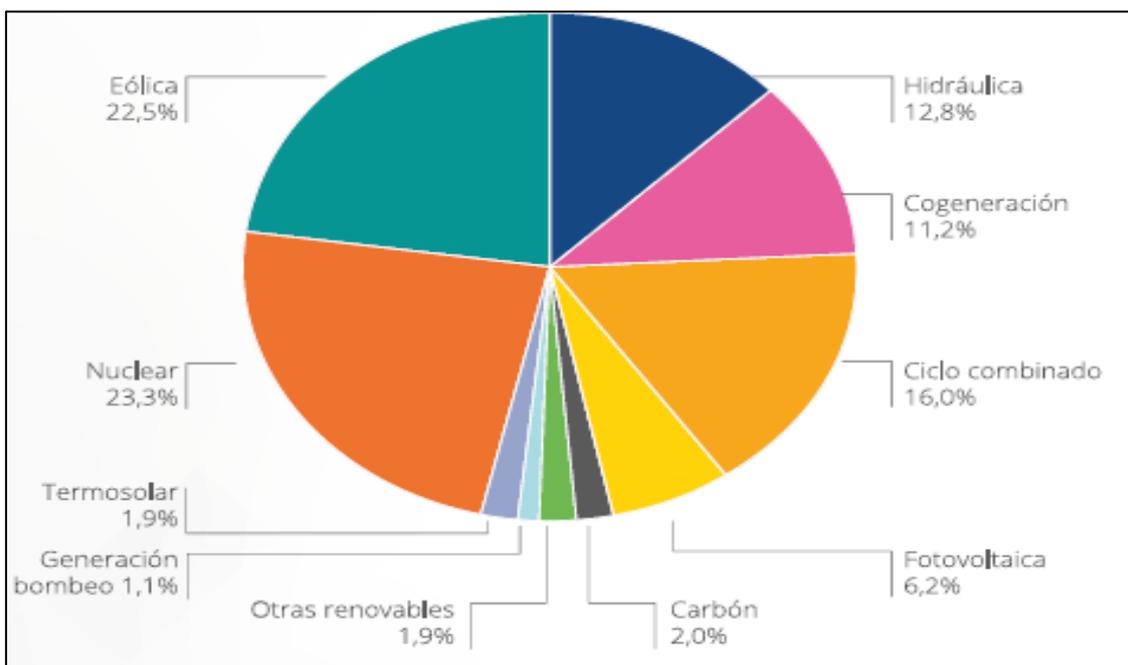


**Figura 2.** Potencia fotovoltaica instalada en plantas de suelo por Comunidad Autónoma, 2020. [2]

### 1.1 ¿QUÉ ES EL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO?

Una instalación fotovoltaica se define como una instalación encargada de la producción de energía eléctrica a partir de una fuente de energía primaria que, en este caso, es el Sol. Por autoconsumo se entiende que es el consumo por parte de uno o

varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos [3].



**Figura 3.** Mix de generación eléctrica en España, 2020. [2]

Estas instalaciones deben cumplir los siguientes requisitos:

- Tener una potencia instalada que no sea superior a los 100 kW.
- Estar asociados a modalidades de suministro que incluyan el autoconsumo.
- Poder inyectar excedente a la red de transporte y distribución.

El autoconsumo solar fotovoltaico es el consumo energético que se cubre mediante tecnología solar fotovoltaica. Esto se logra gracias al efecto fotovoltaico. Este fenómeno ocurre cuando un fotón proveniente de un haz de luz choca con las celdas solares de los paneles, que están construidas con materiales semiconductores y generan el movimiento de un electrón. La energía cinética permite crear pares huecos que no se recombinan instantáneamente, sino que se almacenan en dos capas dopadas p y n. Al existir movimiento de electrones, se genera una diferencia de potencial entre ambas capas. Para aprovechar esto, se crea un campo eléctrico permanente a través de una unión pn. En el instante en que se crea esta unión, los electrones de la capa n fluyen hacia la capa p y se recombinan. Esta única dirección de flujo de electrones genera lo que se conoce como un diodo, que permite que el flujo de corriente se realice en una sola dirección.

Las celdas solares están hechas con silicio monocristalino y policristalino. Un total de 94% de los módulos empleados en el mercado son de este material. Existen también

una amplia variedad tecnológica y material que permiten mejorar la eficiencia de conversión de las celdas y, con ello, la cantidad de energía generada.[4]

## 1.2 TIPOS DE INSTALACIONES DE AUTOCONSUMO.

Existen dos modalidades de autoconsumo las cuales pueden ser:

- Autoconsumo sin excedentes: Se instala un mecanismo antivertido que evita la inyección de energía a la red.
- Autoconsumo con excedentes: En este caso las unidades generadoras pueden suministrar energía a la red. Estos excedentes pueden estar acogidos a compensación, en donde voluntariamente el consumidor y el productor optan por este mecanismo.
- Autoconsumo individual: Una instalación de generación para un solo consumidor.
- Autoconsumo colectivo: Varios consumidores asociados a una sola instalación, En este caso todos los consumidores que se encuentran asociados a esta instalación deben comunicar de manera individual y pormenorizada a la empresa distribuidora la asignación de los consumos realizados. Actualmente se está impulsando la creación de comunidades energéticas que se acogen a este modelo.

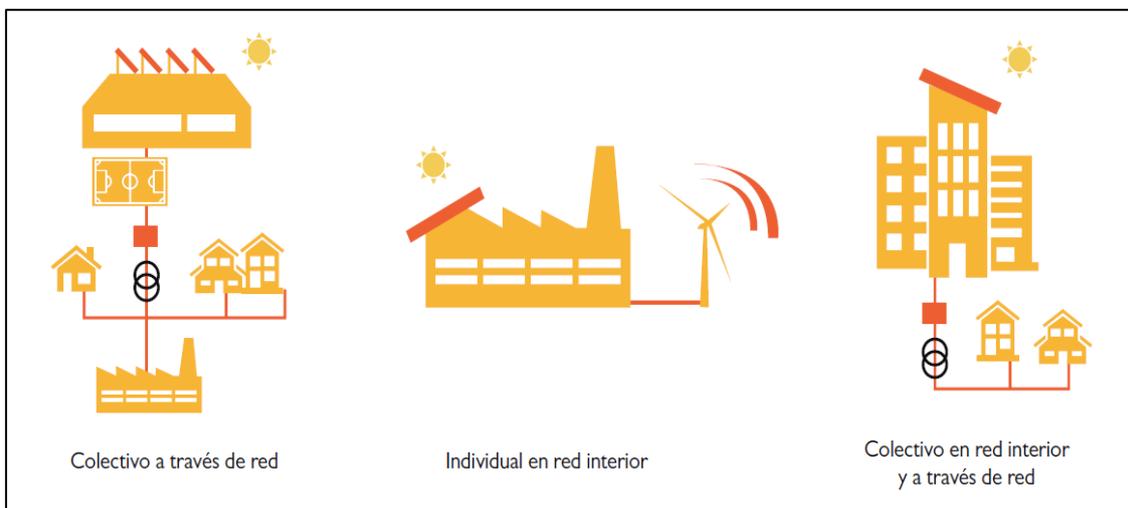


Figura 4. Tipos de autoconsumo.[1]

## 1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO.

Algunas de las ventajas que se pueden evidenciar de esta tecnología son:

- Vida útil superior a 25 años en la mayoría de los fabricantes de paneles y producción por encima del 80% de la eficiencia del panel para dicho periodo de tiempo.
- Luchar contra la pobreza energética mediante el ahorro en la factura eléctrica por la energía generada
- Posibilidad de generar comunidades generales de autoconsumo que permitan crear comunidades energéticas con independencia en su generación de energía.
- Incremento de la competitividad de las actividades industriales y agrícolas al no depender del incremento en precios de mercado energético.
- Creación de puestos de trabajo.
- Al ser una fuente de generación distribuida disminuye las pérdidas de energía en redes y la necesidad de nuevas infraestructuras.
- Impacto positivo en el medio ambiente.

Por otra parte, se pueden evidenciar las siguientes desventajas:

- Su máxima eficiencia depende de la orientación y el espacio disponible en el tejado para realizar la instalación.
- A pesar de los grandes avances tecnológicos en cuanto a la eficiencia y disminución de costes, aun es una tecnología demasiado costosa para los sectores más vulnerables de la sociedad.
- Existen demoras en los trámites para la realización de estas instalaciones, siendo aun dependientes de burocracias por parte de los municipios donde se quieren llevar a cabo estas propuestas.
- Existe falta de mano de obra calificada en el sector para cumplir los objetivos de instalación.

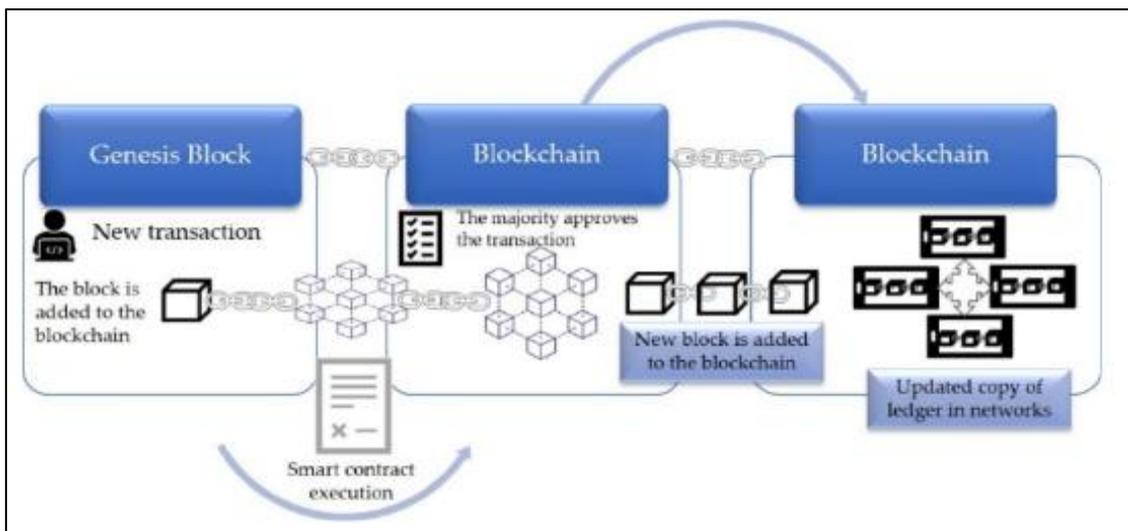
El autoconsumo tiene un impacto directo sobre el sistema eléctrico ya que implica una menor dependencia de la red eléctrica para cubrir las necesidades de los clientes. Se espera que en un futuro a medida que más y más gente se acoja a esta modalidad, los precios de la energía disminuyan al existir menos demanda y se pueda ofertar la energía excedente que se inyecta a la red. Adicionalmente, es posible aprovechar el espacio disponible en los tejados de las construcciones ya existentes, con lo que no se requiere de disponer de nuevos terrenos para realizar las instalaciones. Hay que considerar que el Gobierno de España ha fomentado este tipo de tecnología renovable y las sinergias que pueden crear con el impulso de una red de generación distribuida, todo esto mediante las medidas acogidas por el Real Decreto-Ley 15/2018 y el Real Decreto-Ley 244/2019 en el cual se regulan las condiciones técnicas y económicas del autoconsumo eléctrico.

## 2 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN Y LOS TOKENS DE UTILIDAD.

La tecnología blockchain puede ser definida como un libro mayor distribuido en línea y de código abierto donde las transacciones entre diferentes partes interesadas se pueden registrar y actualizar simultáneamente y en tiempo real. Está diseñado para que las transacciones puedan ser autenticadas de una forma confiable e irreversible [5]. La tecnología blockchain más popular hoy en día es Bitcoin, surgida en 2008 a través del publicado *White paper* “A peer-to-peer electronic cash system” en donde se plantea un método de sistema de pago entre pares en donde no existen intermediarios. Si bien este fue el primer uso que se dio a la tecnología, con los años su evolución permitió darle una aplicación más allá de ser un canal de pagos descentralizado. Allí es donde surgen los contratos inteligentes, programas informáticos capaces de ejecutarse y hacerse cumplir por sí mismos, de manera autónoma y automática, sin intermediarios ni mediadores, evitando el lastre que conlleva la interpretación del lenguaje y que pueden ser llamados no solo por personas físicas sino también por máquinas [6]. Algunas de las características que tiene una blockchain pública de código abierto son [8]:

- Una red P2P que conecta a los participantes con las transacciones realizadas y bloques, basadas en un protocolo estandarizado de “chismes”.
- Mensajes, en forma de transacciones.
- Reglas de consenso que determinan que constituye una transacción y que hace válido un estado de transición.
- Una máquina de estado que procesa las transacciones según las reglas del consenso.
- Una cadena de bloques protegida criptográficamente que funciona como un diario de todos los estados de transición verificados y aceptados.
- Un algoritmo de consenso que descentraliza el control sobre la blockchain y fuerza a los participantes a cooperar en la mejora de las reglas del consenso.
- Un esquema de incentivos sólido para asegurar económicamente la máquina de estado en un protocolo abierto.
- Una o más implementaciones de código abierto sobre el software.

Según los expertos, en el pasado se acuñaba el término blockchain para representar un conjunto de una o más tecnologías que englobaban las características previamente descritas. Por ende, hoy en día existen una gran cantidad de cadenas con diferentes propiedades. En resumen, una tecnología debe ser abierta, pública, global, descentralizada, neutral y resistente a la censura para ser considerada como blockchain. En la **Figura 5** se visualiza el método de funcionamiento de la tecnología, en donde un bloque que almacena una transacción se adhiere a la cadena una vez verificada la transacción por la red.



**Figura 5.** Pasos básicos en el funcionamiento de la blockchain. [9]

En el campo de las tecnologías renovables, la tecnología blockchain ha atraído la atención de los mercados energéticos con diversas aplicaciones, como puede ser [9]:

- Intercambio de energía descentralizado: No se recurre a un ente central (empresa de energía) para comerciar la energía generada. Impacto en prosumidores y formación de comunidades energéticas que intercambien sus excedentes energéticos. Posibilidad de formación de microrredes que disminuya los costos energéticos y democratice la energía.
- Posibilidad de crear tokens que sirvan como recompensa ante prácticas ambientales amigables. Creación de modelos de negocio innovadores que incluyan gobernabilidad y división de bienes.
- Remodelar el sector eléctrico mediante medidores inteligentes y big data que permitan disminuir costes y mejorar la eficiencia de la red, ajustando la demanda de la red a necesidades específicas.
- Aplicaciones en movilidad eléctrica. Comprobar que las fuentes de recarga de vehículos eléctricos corresponden a generación con energía renovable. Permitir la interoperabilidad de redes entre distintos países.
- Contribución a la energía circular. Se puede llegar a usar blockchain para rastrear el origen de los materiales, el lugar donde se almacenan los productos, el método de transporte utilizado, tipos de compradores y métodos de pago. Se puede incrementar la sostenibilidad de la cadena de valor de cualquier industria al cuantificar las emisiones de GEI involucradas en la creación de un producto. También se puede promover la reutilización y reciclaje de bienes, dándoles trazabilidad a su vida útil y fomentando prácticas sostenibles mediante la aceptación y la coordinación social en donde se intercambien datos de diversas cadenas y participantes.

## 2.1 TOKENS DIGITALES.

Los tokens son unidades de cuenta usados en una plataforma blockchain [10]. Son vitales para el funcionamiento de una plataforma ya que proveen la base para el funcionamiento de las transacciones. Los tokens pueden ser clasificados en diferentes categorías dependiendo su uso y su aplicación específica. En la **Tabla 1** se observa una clasificación de los tokens digitales:

**Tabla 1.** Clasificación de los tokens digitales [11]. Traducido por Juan Macías.

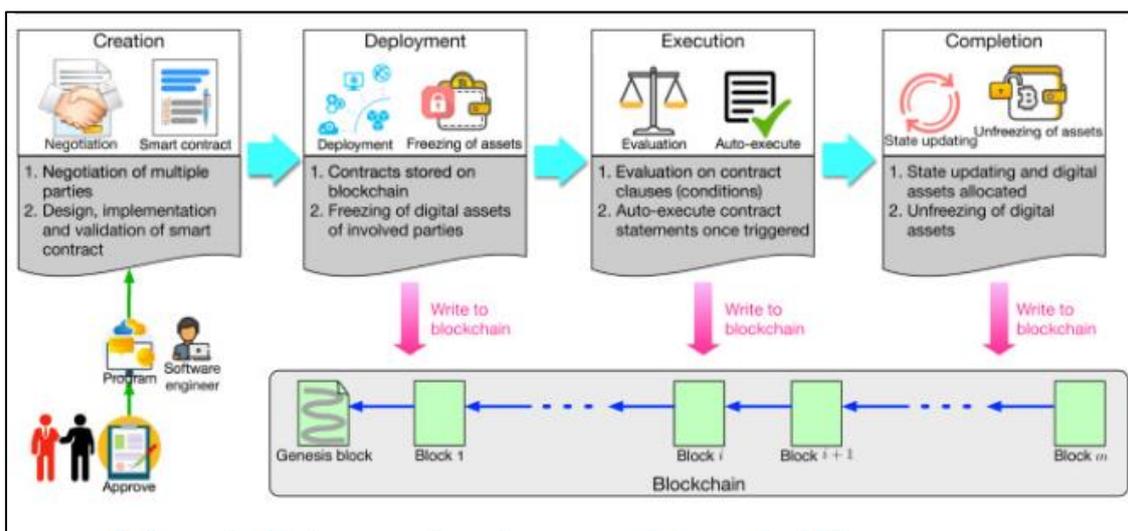
	Token de seguridad	Token de utilidad	Token de pago
¿Qué?	Es una representación digital de un producto de inversión	Un token de utilidad da derechos de consumo para acceder a un producto o servicio	Un token de pago (también conocido como criptomoneda) es el equivalente a efectivo
¿Por qué?	Este producto de inversión es comprado por un inversor esperando un beneficio	El token de utilidad es emitido para ser gastado en un ecosistema basado en una comunidad. Tiene características similares a un voucher.	El token de pago es un medio de pago en un ecosistema basado en una comunidad.
¿Quién?	El emisor es usualmente una entidad con ánimo de lucro, por ejemplo una compañía limitada privada. El objetivo de esta compañía es crear valor a los inversores vendiendo productos y servicios a los clientes	Los emisores originales son fundaciones, entidades sin ánimo de lucro, de las cuales los tokenholders se convierten miembros. El producto o servicio tiende a crear valor para los miembros.	El principal ejemplo de criptomoneda es Bitcoin. En primera medida los emisores fueron fundaciones, entidades sin ánimo de lucro, de las cuales los tokenholders se convierten en miembros de la comunidad.
¿Cómo?	La emisión es generada usualmente mediante una STO y grabada en un libro de registro distribuido usando tecnología blockchain	La emisión es usualmente lanzada mediante una ICO y grabada en un libro de registro distribuido usando tecnología blockchain	La emisión es usualmente lanzada mediante una ICO y grabada en un libro de registro distribuido usando tecnología blockchain
¿Cuándo?	Dependiendo del tipo de seguridad, los tokens pueden ser emitidos cuando una compañía start-up puede articular la información requerida para un prospecto de seguridad. La emisión también puede ser conducida después, por ejemplo por compañías establecidas.	Los tokens son usualmente generados de forma temprana cuando el equipo principal de desarrollo ha conceptualizado su proyecto de comunidad y ha sido descrito en un whitepaper.	Los tokens son usualmente generados de forma temprana cuando el equipo principal de desarrollo ha conceptualizado su proyecto de comunidad y ha sido descrito en un whitepaper.
¿A quién?	Los tokens de seguridad caen bajo las leyes de seguridades que son implementadas por el respectivo regulador financiero. Es muy común limitar el acceso a seguridades de alto riesgo a inversores acreditados.	Los tokens de utilidad son, en la mayoría de las jurisdicciones, no considerados como securities y, entonces, no son gobernados por leyes de seguridad. Esto remueve obstáculos regulatorios para acceder a ellos mediante compradores de retail. Dado que son más similares a vouchers, los tokens de utilidad están sujetos a protección de consumidor y leyes de impuestos.	Los tokens de pago no están, en la mayoría de las jurisdicciones, bajo la supervisión de las leyes de seguridades. Dado que son un medio de pago, los tokens de pago están cubiertos por leyes bancarias y de servicios de pagos. Excepto algunos países que han baneado los assests digitales, como equivalente de efectivo, virtualmente cualquiera puede comprar tokens de pago.

El concepto de token es notablemente difícil de entender desde el punto de vista económico, ya que un token puede representar, de forma simultánea, una moneda, un valor patrimonial, un instrumento financiero, una recompensa, un derecho o acceso y un activo digital. [12] Actualmente sigue existiendo debate entre los diferentes organismos reguladores al respecto de la taxonomía legal de estos activos digitales, y encontrar una regulación que aplique de manera conjunta para cada país es uno de los desafíos que se presentan en este ámbito.

## 2.2 CONTRATOS INTELIGENTES Y APLICACIONES.

Un contrato inteligente (Smart contract) es ejecutado cuando recibe información evaluada en términos pre-definidos del contrato. Si los pre-requisitos se cumplen, el resultado deseado es generado, por ejemplo, completar una transacción. De lo contrario, aparecerá un mensaje de error visible para todos los nodos de la blockchain sobre la que se ejecuta el Smart Contract. [13]

En general, la blockchain permite los contratos inteligentes, ya que estos son implementados encima de la cadena. Las cláusulas de cada contrato se convierten en programas ejecutables y se siguen lógicas de programación. Como se mencionó previamente, cada vez que se ejecuta el contrato se graba como una transacción en la blockchain [14]. (Zibin, 2020). En la **Figura 6** se observa el ciclo de vida de un contrato inteligente:



**Figura 6.** Ciclo de vida de un smart contract. [14]

- Creación del contrato inteligente. Las partes interesadas realizan la negociación del contrato. Una vez determinado, los ingenieros de software se encargan de escribir el código, utilizando el método de prueba y error.
- Lanzamiento del contrato inteligente. Los contratos son lanzados en plataformas sobre las diferentes blockchains, donde no podrán ser cambiados. Una vez allí, las partes involucradas podrán acceder al contrato a través de la blockchain gracias a sus billeteras digitales.
- Ejecución de los contratos inteligentes: Se evalúan las cláusulas. Una vez se cumplen las condiciones contractuales, se ejecuta el contrato automáticamente y se almacena en forma de transacción en la blockchain. Los estados se actualizan y se guardan dentro de la cadena.
- Completamiento de los contratos inteligentes: Se actualizan los estados de las partes involucradas una vez se ha realizado la ejecución. Los activos digitales son transferidos de una parte a otra, según lo ejecutado por el contrato. Aquí finaliza el ciclo del contrato.

En la **Figura 7** se visualizan algunos posibles usos de los contratos inteligentes. Entre estos se incluyen sistemas distribuidos de seguridad, finanzas y todo aquello relacionado con la reducción de costos de transacciones que transmitan valores, análisis de datos y confiabilidad de los datos suministrados por alguna parte, economía

compartida, como se habló previamente, en donde se comparten excedentes energéticos u otros activos digitales que tengan valor. También se visualizan aplicaciones en el sector público y la gestión de información fraudulenta.

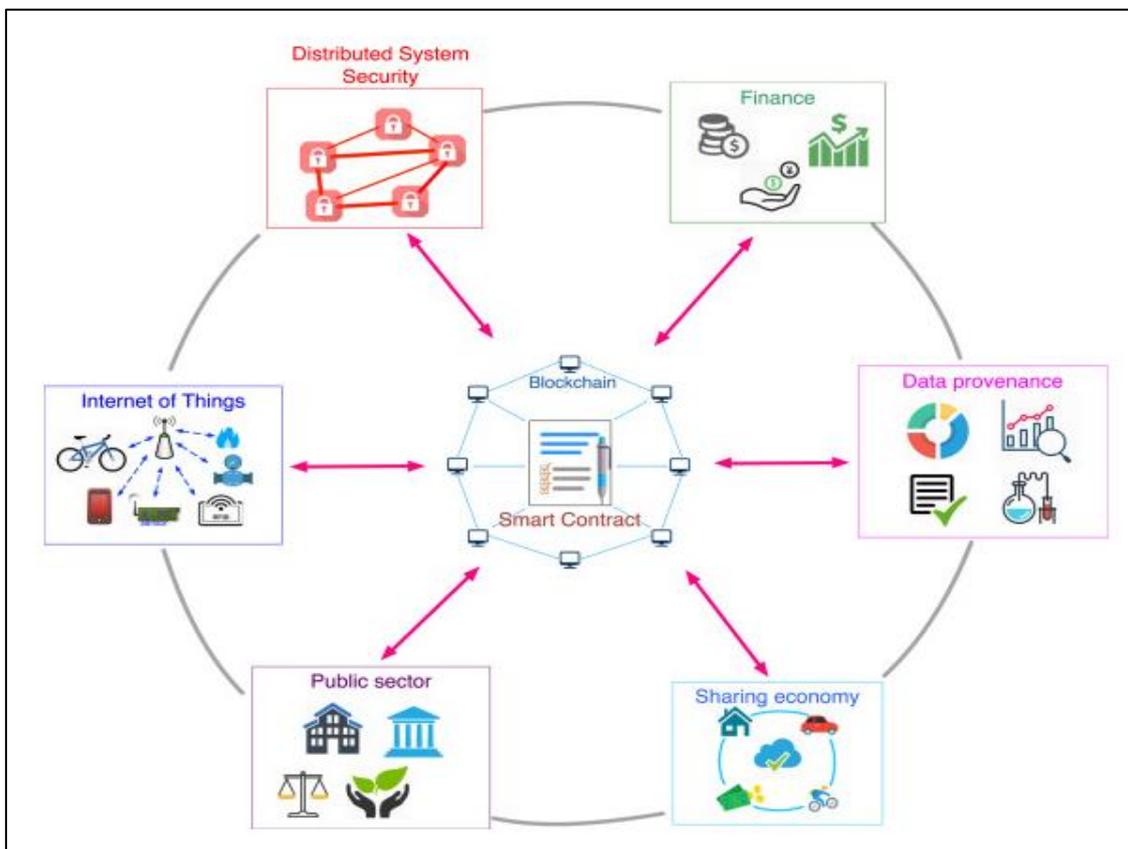


Figura 7. Usos de los smart contracts. [14]

### 2.3 PROPUESTA DE TRABAJO.

Una vez visualizada las características de la tecnología blockchain y los contratos inteligentes, la propuesta es generar un contrato inteligente que asigne tokens digitales que representen una tonelada de CO2 a las instalaciones de autoconsumo solar fotovoltaico para calcular el ahorro que se está dando por generar la energía mediante una fuente renovable que no realiza emisiones de GEI durante su tiempo de vida útil. Se propondrá luego una posible aplicación para estos tokens donde se asigne un valor base y se realice intercambio entre los mismos. El objetivo final es impulsar la adopción de las tecnologías de autoconsumo teniendo en cuenta la creación de modelos de negocio novedosos que se enmarcan en lo digital y suponiendo que no se presentan inconvenientes en cuanto a la escalabilidad y seguridad de la plataforma.

### 3 TOKENIZACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO SOLAR FOTOVOLTAICO.

Una vez definido lo que es un token de utilidad, se procede a realizar el estudio de cálculo de generación del ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> por la implementación de instalaciones de autoconsumo solar fotovoltaico en una vivienda. Se realizará una simulación para una vivienda en Barcelona mediante el software PVsyst, un software de diseño que realiza los cálculos de generación de energía a partir de datos de radiación solar tomando en cuenta cálculos de radiación y potencial fotovoltaico.

#### 3.1 CALCULO DE RADIACIÓN SOLAR Y MODELO METEOROLÓGICO.

Se empleó el modelo meteorológico Meteonorm 8.0 (1996-2015), que se encuentra incorporado en el software, y que incluye datos tipo de radiación solar del periodo de tiempo seleccionado tomando en cuenta el mayor valor para cada año del modelo. En la **Tabla 2** se observan los datos arrojados por PvSyst donde se puede observar la radiación global incidente, radiación difusa, temperatura ambiente, velocidad del viento, etc.

**Tabla 2.**Datos de irradiancia global y difusa, temperatura ambiente.

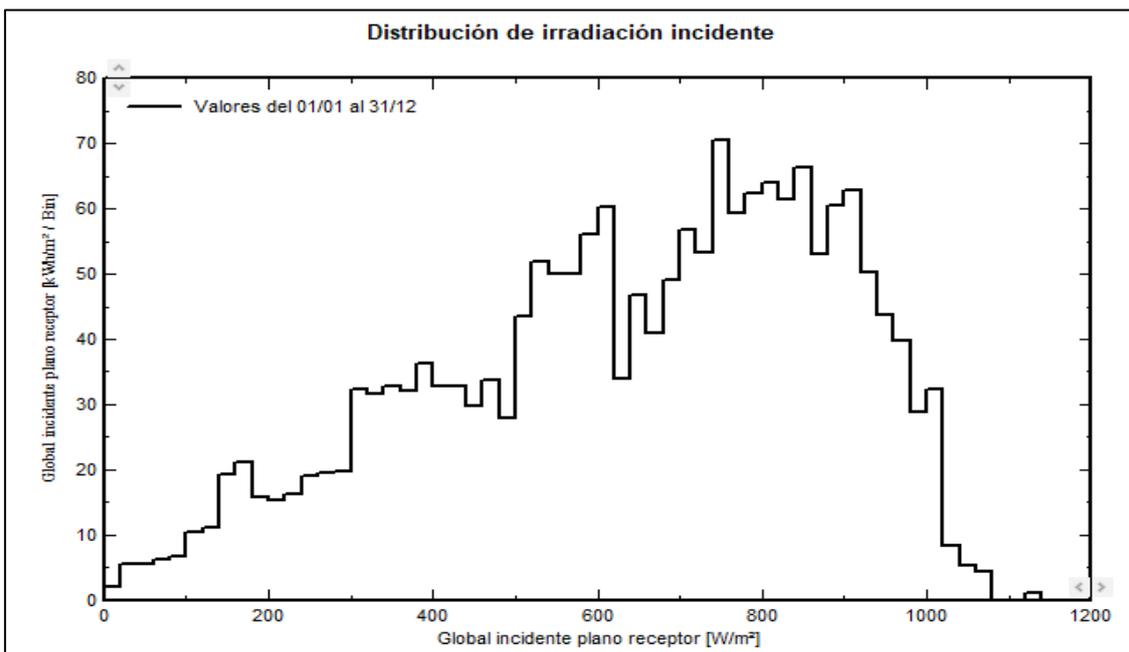
	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	65.1	23.52	8.02	110.9	105.4	251.8	241.5	0.807
February	80.5	35.91	9.03	115.6	109.5	261.3	250.7	0.803
March	131.3	52.79	12.19	165.4	156.5	365.5	351.4	0.787
April	158.4	75.94	14.77	172.4	162.4	377.0	362.5	0.779
May	197.6	76.99	18.38	198.2	186.7	424.0	407.6	0.762
June	209.8	77.09	22.54	200.9	189.1	422.7	406.5	0.749
July	212.5	82.03	25.52	208.5	196.4	434.1	417.5	0.742
August	187.3	79.85	25.54	200.2	188.8	418.0	402.0	0.744
September	137.7	55.83	21.46	164.6	155.5	349.2	335.6	0.755
October	103.3	42.98	17.93	142.3	134.8	310.1	297.7	0.775
November	66.6	28.37	12.28	106.7	101.1	239.2	229.0	0.795
December	55.7	25.81	8.83	96.2	91.1	219.7	210.1	0.809
Year	1605.8	657.11	16.42	1881.9	1777.3	4072.7	3912.3	0.770

#### 3.2 PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN.

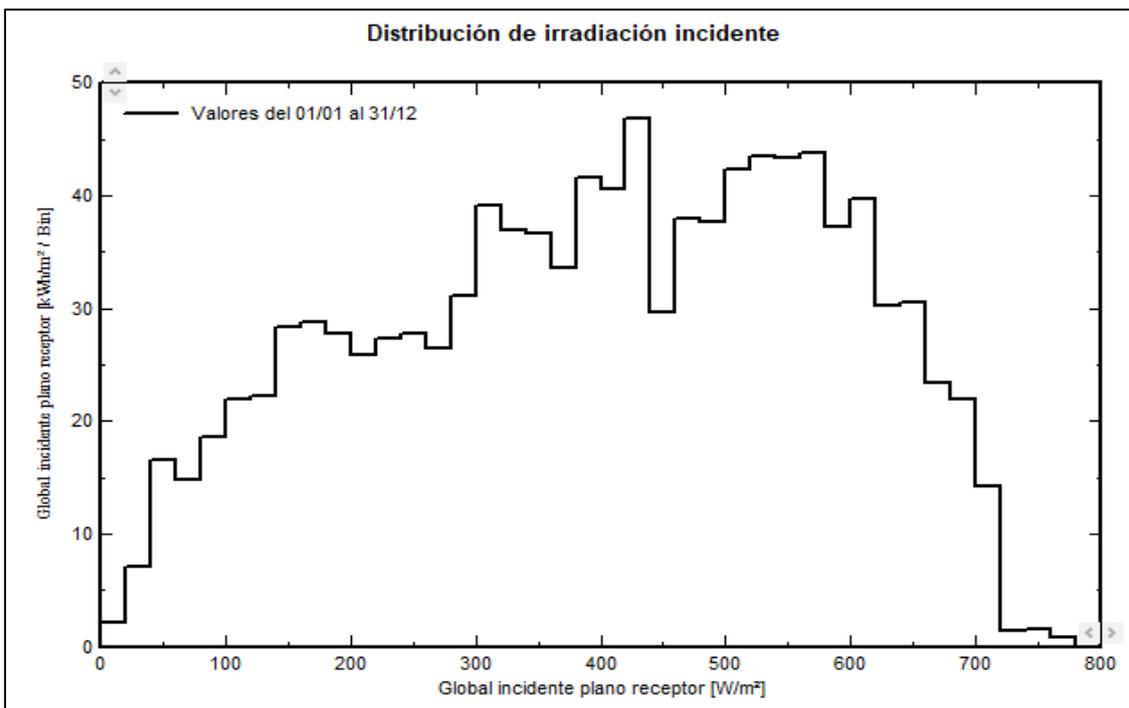
Para el desarrollo de la simulación se deben especificar diversos parámetros que permitirán al software su uso correcto.

Se determina la orientación empleada y el ángulo de inclinación de la instalación. En este caso se consideró una inclinación de 30° y una orientación sur, que es la mejor orientación posible para el máximo aprovechamiento de la radiación solar. En términos de autoconsumo, la orientación está condicionada a la dirección en la que se encuentra el tejado de cada vivienda construido. Orientaciones hacia el este-oeste permitirán generar mayor producción de energía durante las primeras horas del día y

las últimas horas de la tarde, mientras que la orientación sur aprovechará la mayor cantidad de horas solares en las que la radiación del sol impactará a los paneles. Hay que tener en cuenta que la orientación norte es la menos favorable para realizar las instalaciones y que pueden representar pérdidas interanuales de producción de hasta un 40% ya que la radiación incidente sobre la cara de los paneles va a ser menor, como se ve en la **Figura 8** y **Figura 9**.



**Figura 8.** Distribución de irradiación incidente con módulos ubicados hacia el sur.



**Figura 9.** Distribución de irradiación incidente con módulos ubicados hacia el norte.

### 3.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EMPLEADOS

Se realizó la simulación con el módulo Axitec 450 Wp 35V Si-mono, el cual tiene una garantía de producción de 25 años con una eficiencia de producción de 20,7%. Es un panel de 144 células con 23kg de peso. En el Anexo 1 se visualiza la ficha técnica del panel en mención. En la **Figura 10** se puede observar los datos relativos al módulo visualizado en el software, donde se pueden observar las especificaciones de producción en condiciones estándar de testeo (Standard Test Conditions). Adicionalmente se puede observar la degradación anual del módulo, pérdidas por temperatura y tolerancia. Estos paneles son de los más utilizados en el mercado actualmente por grandes empresas ya que representan una eficiencia muy alta con respecto a otros competidores como pueden ser los paneles de silicio policristalino. En la **Figura 11** se visualiza la curva de corriente vs voltaje y se visualiza la potencia pico para cada rango de irradiancia.

The screenshot shows the 'Definición de un módulo FV' window with the following data:

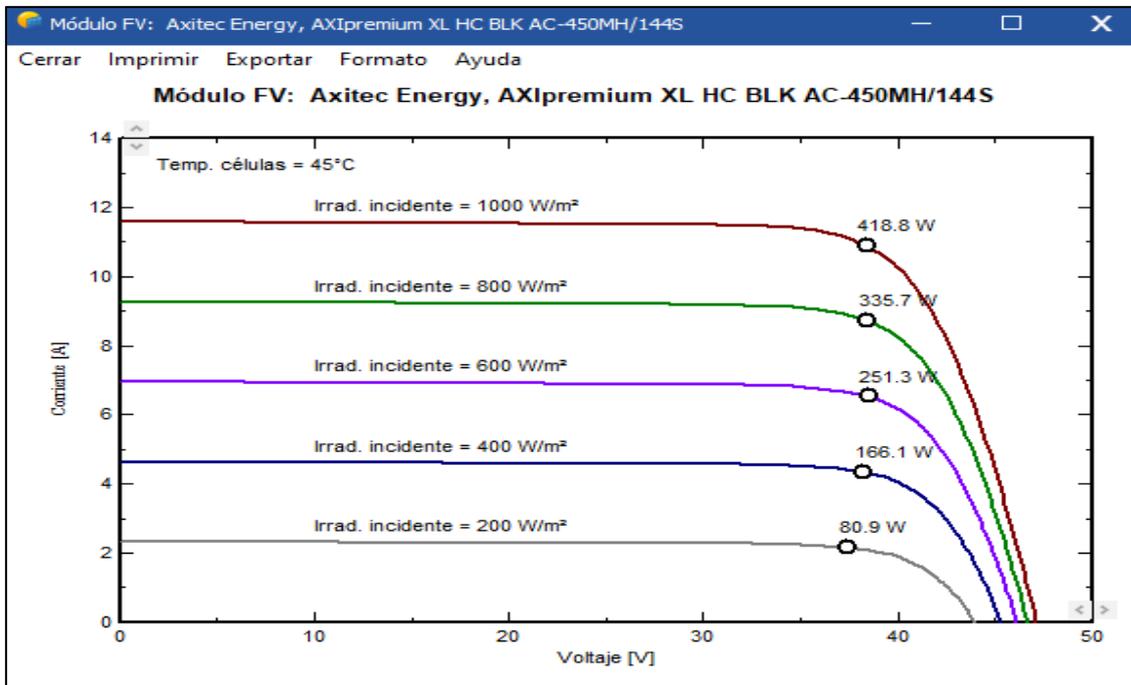
Datos básicos		Tamaños y tecnología		Parámetros del modelo		Datos adicionales		Comercial		Gráficos	
Modelo	AXIpremium XL HC BLK AC-450MH/144S										
Fabricante	Axitec Energy										
Nombre de archivo	Axitec_Energy_AXIpremium_XL_HC_BLK_AC_450MH_1										
Fuente datos	Manufacturer 2020										
Base de datos PVsyst original	Prod. desde 2020										
Potencia nom. (en STC)	450.0 Wp	Tol. +/-	0.0	1.1	%						
Tecnología	Si-mono										
<b>Especificaciones del fabricante o otras medidas</b>											
Condiciones de referencia	GRef	1000	W/m <sup>2</sup>	TRef	25	°C					
Corriente de cortocircuito	Isc	11.480	A	Circuito abierto Voc	50.10	V					
Punto de Potencia máx.	Imp	10.880	A	Vm	41.39	V					
Coeficiente de temperatura	muIsc	5.7	mA/°C	Núm. de células en serie	72	x 2					
	o muIsc	0.050	%/°C								
<b>Herramienta de resultado del modelo interno</b>											
Condiciones de operación	GOper	1000	W/m <sup>2</sup>	TOper	25	°C					
Punto de Potencia máx.	Pmpp	450.3	W	Coef. temper.	-0.34	%/°C					
Corriente	Imp	10.88	A	Voltaje Vmpp	41.4	V					
Corriente de cortocircuito	Isc	11.48	A	Circuito abierto Voc	50.1	V					
Eficiencia	/ Área células	22.70	%	/ Área módulo	20.72	%					
<b>Resumen del modelo</b>											
<b>Parámetros principales</b>											
Derivación R	350 Ω										
Rderiv(G=0)	1400 Ω										
Modelo serie R	0.27 Ω										
Serie R máx.	0.27 Ω										
Serie R aparente	0.43 Ω										
<b>Parámetros del modelo</b>											
Gamma	0.991										
IoRef	0.02 nA										
muVoc	-148 mV/°C										
muPMax fijo	-0.35 /°C										

Figura 10. Características de modulo solar fotovoltaico.

### 3.2.2 DATOS DEL INVERSOR

Para el inversor se utilizó el SUN2000 – 3KTL -L-1 de Huawei, con una eficiencia de 98.2%, con un voltaje máximo de 600V y un poder global de 3.0kW, puede operar a 50Hz o 60Hz y tiene 2MPPT que permiten realizar diferentes configuraciones dependiendo la forma del tejado y las posibles sombras que puedan existir en el

mismo. En el Anexo 2 se observa la ficha técnica del inversor seleccionado. En la **Figura 12** se visualizan los parámetros empleados en el simulador para el inversor.



**Figura 11.** Curva I vs V para panel Axitec.

**Definición del inversor de red**

Parámetros principales | Curva de eficiencia | Parámetros adicionales | Parámetros de salida | Tamaños y tecnología | Datos comerciales

Modelo: SUN2000-3KTL-L1 | Fabricante: Huawei Technologies  
 Nombre de archivo: Huawei\_SUN2000\_3KTL\_L1.OND | Fuente de datos: Manufacturer 2020  
 Base de datos PVsyst original | Prod. desde 2020

**Lado de entrada (Campo FV CC)**

Voltaje MPP mínimo: 80 V  
 Voltaje mín. para PNom: N/A V  
 Corriente máxima por MPPT: N/A A  
 Voltaje MPP nominal: 360 V  
 Voltaje MPP máximo: 600 V  
 Voltaje FV máx. absoluto: 600 V  
 Umbral de potencia: 20 W  Defecto  Requerido

Especificación contractual, sin significado físico verdadero:  Requerido

Potencia FV nominal: N/A kW   
 Potencia FV máxima: N/A kW   
 Corriente FV máxima: 25.00 A

**Lado de salida (Red CA)**

Frecuencia:  50 Hz  60 Hz  
 Monofásico  Trifásico  Bifásico

Voltaje de red: 230 V  
 Potencia de CA nominal: 3.00 kVA  
 Potencia CA máxima: 3.30 kVA  
 Corriente CA nominal: 13.10 A   
 Corriente CA máxima: 15.00 A

**Eficiencia**

Eficiencia máxima: 98.25%  
 Eficiencia definida para 3 voltajes

Copiar a la tabla | Imprimir | Cancelar | OK

**Figura 12.** Datos del inversor.

### 3.3 DISEÑO Y SIMULACIÓN

Para este diseño se especificaron 6 paneles que corresponden a un área de 13,02m<sup>2</sup>. Estos módulos se instalan en 1 cadena (string) conectados en serie. Pueden realizarse instalaciones con microinversores para optimizar la producción de los módulos y evitar

pérdidas por sombreados de chimeneas, aires acondicionados o inclusive otros edificios que puedan interferir en la producción de energía. En este caso se consideró un tejado sin sombreado para visualizar la mayor producción de energía. Sin embargo, el software PVSyst posee herramientas de análisis de sombreado anual que permiten estimar pérdidas por sombreado. Adicionalmente, se consideran las siguientes pérdidas para este ejemplo específico:

- Factor de modificación de ángulo de incidencia (IAM) global: -2,64%. Corresponde a la disminución en la irradiación absorbida por las células fotovoltaicas debido a reflexiones con respecto a la irradiancia que llegaría en condiciones normales.
- Pérdida por degradación de módulo al año: -3,8%. Determinada por el fabricante.
- Factor de pérdida por soiling: -0.3%. Depende del lugar donde se realiza la instalación, corresponde a pérdidas por suciedad. Con un mantenimiento adecuado de la instalación se llegan a valores casi nulos.
- Pérdida por nivel de radiación: -0.56%.
- Pérdidas por temperatura: -6.23%. Debido al efecto Joule-Kelvin.
- Pérdida LID (Light Induction Degradation): -2%. Esta pérdida se da por la exposición a la luz de los módulos fotovoltaicos.
- Pérdida por mismatch: -2.81%. Pérdida ocasionada por la diferencia de amperaje a la que funcionan los paneles conectados en serie.
- Pérdidas del inversor: -3,68%. Determinada por el fabricante.

En el Anexo 3 se presenta el diagrama de pérdidas según lo descrito anteriormente. Se puede observar que la energía generada por las 6 placas es de 3912kWh, con una producción de 1448 kWh/kWp/año. Hay que tener en cuenta que este resultado es el total de generación de energía de los módulos para este caso específico y representará la energía renovable generada en la vivienda, por lo que se podrá calcular la cantidad de emisiones ahorradas para este ejemplo.

**Tabla 3.** Resultados principales PVSYST.

<b>Resultados principales</b>			
Producción del sistema	<b>3909 kWh/año</b>	Prod. normalizada	<b>3.96 kWh/kWp/día</b>
Prod. específica	<b>1448 kWh/kWp/año</b>	Pérdidas del conjunto	<b>1.04 kWh/kWp/día</b>
Proporción de rendimiento	<b>0.767</b>	Pérdidas del sistema.	<b>0.16 kWh/kWp/día</b>

### 3.4 CÁLCULO DE GENERACIÓN DE TOKENS

Como se mencionó anteriormente, el cálculo para la generación de tokens corresponderá al ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> de la energía generada por las instalaciones solares fotovoltaicas. El cálculo se realiza tomando el dato de factor de emisión del sistema eléctrico español que, para junio de 2022, es de 0,16 toneladas CO<sub>2</sub> eq / MWh en promedio [15]. Este valor variará dependiendo del día y de las tecnologías usadas para cumplir con la demanda en el mercado diario. La **Ecuación 1** muestra la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que ahorra esta instalación:

**Ecuación 1.** Cálculo de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de } tCO_2eq &= \frac{3912kWh}{\text{año}} * \frac{1MWh}{1000kWh} * \frac{0,16t CO_2 eq}{MWh} \\ &= 0,62tCO_2eq/año \end{aligned}$$

En 25 años, que es la vida útil de los paneles, esta instalación generará un ahorro de 15,5 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. A medida que se programe el contrato inteligente en la blockchain se generarán los tokens equivalentes por Wh generado mediante los paneles. Al existir una variación en la producción de energía solar por parte de condiciones climáticas o falla en funcionamiento, es necesario implementar mecanismos de medición que permitan validar la adquisición del token, en donde todos los participantes del sistema puedan validar que la generación de tokens de cada usuario es acorde a la realidad. Esto se debe realizar con el fin de evitar un exceso en la asignación de tokens para un solo usuario que pueda llevar a falsas recompensas y generen desequilibrio en el sistema. Sin embargo, acá es donde la tecnología blockchain juega un papel importante, ya que aporta los mecanismos de validación necesarios de manera descentralizada y veraz, apoyándose en instrumentos de medición y herramientas de consenso que permitan validar los tokens obtenidos.

En la **Tabla 4** se muestra el potencial fotovoltaico mediante tecnologías de autoconsumo para el año 2030. Tomando en cuenta el escenario de alta penetración se tiene que, el cálculo de energía producida tomando 4hs de radiación efectiva, es el siguiente:

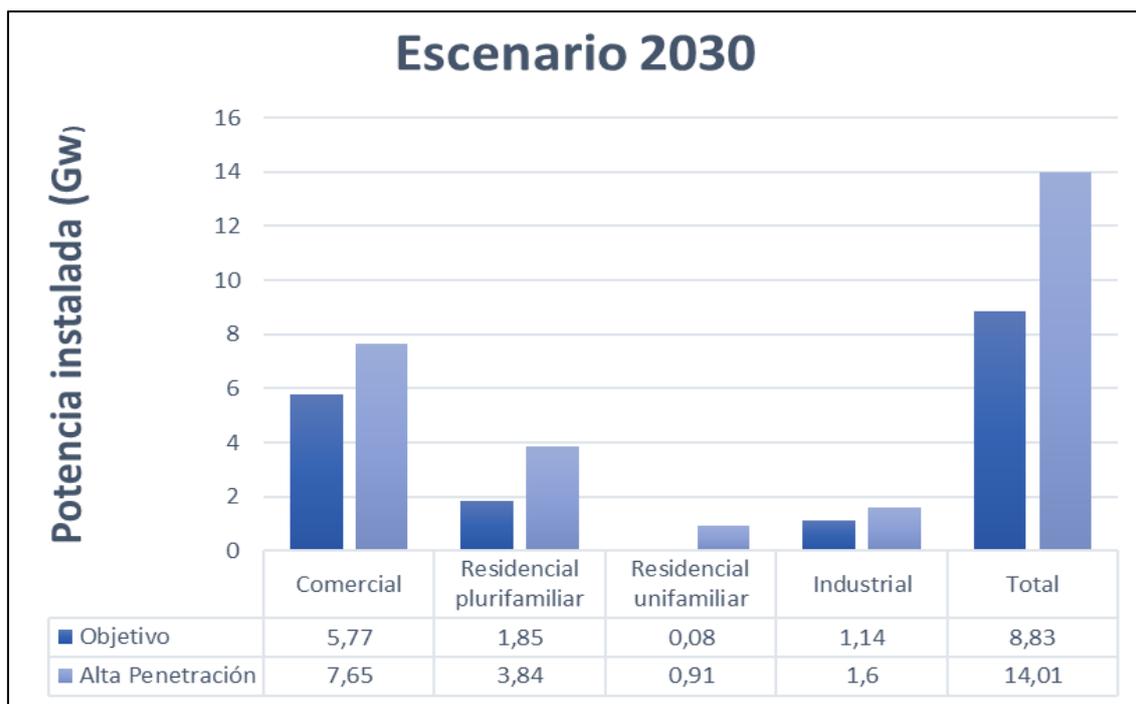
**Ecuación 2.** Cálculo de energía producida por capacidad instalada.

$$\text{Energía producida} = 14,01GW * 4hs * \frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}} = 20454,6GWh/año$$

La cantidad de ahorro de emisiones para esta capacidad, asumiendo un factor de emisión estable y aplicando la **Ecuación 1**, sería:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de } tCO_2eq &= \frac{20454,6GWh}{\text{año}} * \frac{1000MWh}{1GWh} * \frac{0,16t CO_2 eq}{MWh} \\ &= 3'272.736 tCO_2eq/año \end{aligned}$$

**Figura 14.** Potencial ahorro fotovoltaico. [1]



Este valor indica la cantidad de tokens que se podrían llegar a generar gracias al ahorro de emisiones por generación de energía de autoconsumo para el año 2030 y representa la cantidad de tokens en circulación que se pueden llegar a generar anualmente durante este periodo de tiempo. Sin embargo, el resultado de la cantidad final de tokens va a depender de la cantidad de potencia instalada y de los factores de emisión que se manejen en la Red Eléctrica para la fecha.

El valor de la tecnología blockchain permitirá realizar el cálculo exacto teniendo en cuenta la generación de energía en tiempo real y considerando que cada instalación va a tener sus propias características de generación, ya que, dependiendo de la orientación y el dimensionamiento de esta, la cantidad de energía que va a producir será diferente. Adicionalmente, al ser la tecnología blockchain una tecnología de consenso completamente transparente, todos los usuarios de la red podrán verificar que la generación de tokens es la correcta para cada tipo de instalación, y se realizará mediante una aplicación el monitoreo e intercambio de estos tokens, como se visualizará en el siguiente capítulo.

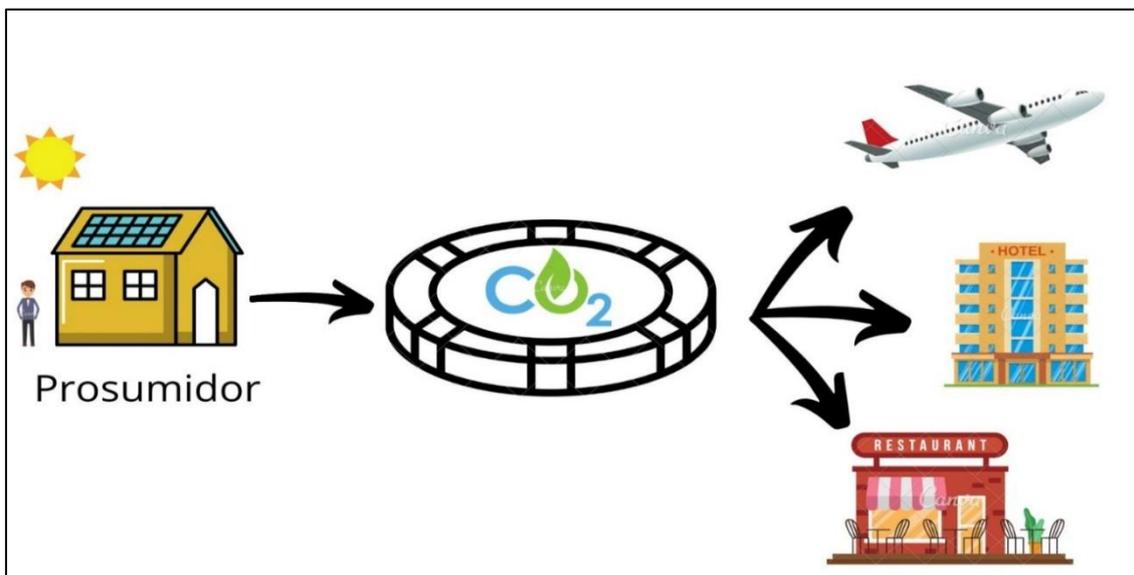
#### 4 PROPUESTA DE VALOR E INTERCAMBIO DE TOKENS

Las posibilidades que surgen de este modelo son muy amplias. Al cuantificar la cantidad de emisiones que cada prosumidor deja de emitir a la atmósfera, se puede dar valor y utilidad a las mismas mediante nuevos modelos de negocio innovadores en donde se recompense por generar ahorro en emisiones. La sostenibilidad y una mayor responsabilidad social se lograrán a través de modelos de negocio que faciliten la descentralización y creación de valor circulante de productos y servicios. [16] Es decir que la propuesta de generar valor por ahorrar en emisiones de CO<sub>2</sub> para el pequeño consumidor de energía es un beneficio que permitirá impulsar la adopción de la tecnología y superar los escenarios planteados. Para ello se podría crear una aplicación que permita realizar el intercambio de los tokens, una aplicación en donde empresas puedan ofertar sus productos o servicios a cambio de los tokens, o donde se puedan vender los tokens digitales por dinero *fiat*. En principio podría realizarse el canje por descuentos en servicios de empresas que se quieran adherir a la aplicación. Cualquier empresa que preste un producto o servicio puede agregarse a la aplicación y empezar a generar un cambio desde el punto de vista social y ambiental. Algunos ejemplos de lo que puede ocurrir podría ser:

- Una gran cadena de restaurantes a nivel mundial quiere mejorar la percepción de su marca desde el punto de vista medioambiental. Para esto implementa descuentos en sus productos a cambio de tokens de CO<sub>2</sub>, que luego intercambiará, por ejemplo, por una reducción en los derechos de emisión que tiene asignados anualmente.
- Una compañía aérea decide canjear tokens de CO<sub>2</sub> por descuentos en viajes a ciertos destinos que se realizan con una producción de emisiones elevada, con el fin de compensar las emisiones generadas.
- Un prosumidor A quiere incrementar la cantidad de tokens de CO<sub>2</sub> que posee para obtener algún descuento adicional dentro de la plataforma, por lo que le compra los tokens que tenga en su poder al prosumidor B.

Los usuarios tendrán como beneficio al usar esta aplicación la opción de escoger entre diferentes descuentos y promociones a cambio de sus tokens de CO<sub>2</sub>. Hay que tener en cuenta que la vida útil de los paneles es de 25 años como mínimo, por lo que se generarán tokens durante este periodo que podrán ser intercambiados en cualquier momento, siendo decisión de los usuarios el momento en que quieran realizar el

intercambio. Adicionalmente se concientizaría al usuario sobre la cantidad de emisiones que se ahorran por realizar instalaciones de autoconsumo fotovoltaico, generando así un interés para que la cantidad de instalaciones de este tipo aumente. En la **Figura 13** se evidencia gráficamente lo anteriormente descrito.



**Figura 13.** Usos para tokens de CO2.

Las empresas que reciban los tokens también deben tener un incentivo que los motive a participar del mecanismo. Estos tokens pueden serles de utilidad en los siguientes aspectos:

- Comerciar en un futuro mercado de emisiones de CO2.
- Generar una percepción entre los consumidores de ser la empresa preferida por los usuarios de generación de energía verde, siendo un hito para la imagen de la empresa en cuanto a perspectiva de desarrollo social y ambiental. Entre mas tokens se acumulen esto indicará que los prosumidores dan valor a sus productos o servicios al intercambiar los tokens que generan con sus instalaciones de autoconsumo.
- Explorar la posibilidad de poder intercambiar los tokens por descuentos en los derechos de emisión que compran las empresas, al impulsar a los pequeños consumidores de pasarse a energía renovable.
- Dar a conocer sus productos y servicios a los clientes, dando una muestra de lo que hacen y usando la aplicación como una plataforma de publicidad.



Hay que tener en cuenta que actualmente el costo de una tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> es de 83,31€ para la media anual del 2022 al mes de julio [17]. El valor de los tokens podría estar atado a este precio en un principio. Sin embargo, dependerá de la situación del mercado y de la adopción de la idea que este precio se incremente.

Siguiendo con el ejemplo realizado en la simulación en donde un prosumidor ahorra 0,16 tCO<sub>2</sub>eq / año por la generación de energía renovable con sus módulos fotovoltaicos y una aerolínea desea acumular estos tokens, por lo que ofrece a cambio de sus 0,16 tokens un descuento del 5% en un boleto de avión entre destinos determinados. Mediante la aplicación quedará registrada la transacción de intercambio en donde se visualizará que los tokens ahora son propiedad de la aerolínea y el descuento en el pasaje de avión es propiedad del prosumidor. A medida que estos tokens tengan mayor deseo por parte de las empresas, se podrá ver incrementada la cantidad de recompensas que se ofrecen por ellos, viéndose reflejado en mejores descuentos. Las posibilidades que se generan son muy variadas.

Actualmente las empresas que más contaminan deben adquirir derechos de emisión en donde se asigna por parte de la entidad reguladora un límite de la cantidad de emisiones que dicha empresa puede emitir durante el año. Estos derechos de emisión deben ser pagados y en caso de que la empresa exceda la cantidad que puede emitir que tiene asignada tiene la posibilidad de comprar derechos de emisión al mercado adicionales de otras empresas que tengan excedentes. En este punto es donde entrarían los tokens de CO<sub>2</sub> y las nuevas formas de interacción de los mercados, en donde los prosumidores puedan participar directamente en estos mercados. Para darle valor a estos tokens podría llegar a acordarse por parte de la entidad reguladora, por ejemplo, que exista un descuento en el valor de los derechos de emisión del siguiente año para las empresas que acumulen cierta cantidad de tokens, viéndose como un descuento por fomentar la generación de energía renovable a través de sistemas de autoconsumo. Podría suceder también que los tokens tengan un valor tan elevado que amorticen completamente la inversión realizada por el prosumidor, usándose como un mecanismo de financiación en donde se obtienen retornos de inversión más cortos por la generación de energía limpia.

Sin lugar a duda esta propuesta requiere de maduración y análisis para su implementación. Desde el punto de vista tecnológico se debe asegurar que la aplicación sea segura y escalable para que funcione sin importar la cantidad de usuarios y de transacciones que ocurran al mismo tiempo y, por otro lado, desde el punto de vista económico, en donde se logre visualizar un modelo que sea beneficioso y sostenible en el tiempo de vida útil de una instalación para los usuarios.

## CONCLUSIONES

- Se requieren desarrollos de I+D sobre la tecnología blockchain para lograr masificar iniciativas de este estilo que permitan explotar todo el potencial que acarrea tener una gobernanza descentralizada de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y utilizar esto como un mecanismo de incentivo por adoptar tecnologías de generación de energía menos contaminantes.
- El autoconsumo energético es un factor clave en la lucha contra el cambio climático que verá un gran desarrollo durante la próxima década desde el punto de vista económico, social y ambiental. Se requieren diversos esfuerzos por parte de la sociedad y de todos los actores involucrados en políticas energéticas para incrementar aún más la adopción de las tecnologías de autoconsumo y, en especial, de autoconsumo solar fotovoltaico.
- Desarrollar una aplicación basada en tecnología blockchain representa innovación y permite la posibilidad de explorar diversos modelos económicos y de gobernanza hacia el futuro. Sin embargo, existen desafíos a encarar como son la seguridad de la red, la escalabilidad y la descentralización última de la cadena de bloques para poder aprovechar todo su potencial. Así mismo, es necesario educar a la sociedad en aplicaciones de este estilo para eliminar creencias negativas acerca de esta tecnología.
- La energía solar fotovoltaica es una de las principales apuestas que el Gobierno de España va a utilizar para cumplir con los acuerdos pactados en la lucha contra el cambio climático. Debido a su potencial fotovoltaico, España puede ser un referente a nivel europeo y mundial del desarrollo de la industria fotovoltaica de autoconsumo, siempre y cuando se adopten las medidas adecuadas y se implementen nuevas tecnologías. Actualmente existen oportunidades de mejora desde el punto de vista regulatorio para aprovechar más eficientemente la generación mediante autoconsumo.
- Una instalación solar de autoconsumo traerá para el prosumidor beneficios económicos al tener un ahorro en la factura eléctrica y ambientales al generar una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Con la propuesta de valor se suma un nuevo beneficio económico y digital que impulsará a la adopción de tener paneles en cada tejado donde sea técnicamente viable.



## REFERENCIAS

- [1] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. (2021). *HOJA DE RUTA DEL AUTOCONSUMO*. MADRID: INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA.
- [2] UNEF. (2021). *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA OPORTUNIDAD PARA LA SOSTENIBILIDAD*. MADRID.
- [3] BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO ESPAÑOL. (5 DE ABRIL 2019). *REAL DECRETO 244*. MADRID.
- [4] Utpal Gangopadhyay, S. J. (2013). State of Art of Solar Photovoltaic Technology. *Conference Papers in Energy*, (pág. 9). Kolkata.
- [5] M. Iansiti, K. L. (2017). The truth about blockchain. *Harv. Bus. Rev*, Pg 119-127.
- [6] Bit2me Academy. (2020). Obtenido de <https://academy.bit2me.com/que-son-los-smart-contracts/>
- [7] UNEF. (2021) Obtenido de <https://www.unef.es/es/comunicacion/comunicacion-post/el-autoconsumo-fotovoltaico-instalado-en-espana-crecio-mas-del-100-en-2021>
- [8] Andreas Antonopoulos, G. W. (2018). *Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and Dapps*. O'Reilly Media, Inc.
- [9] Oskar Juszcyk, K. S. (2022). Blockchain Technology for Renewable Energy: Principles, Applications and Prospects. *Energies*, 15. Obtenido de Energies - Research Gate: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- [10] Benedetti H, A. L. (15 de Diciembre de 2021). *Utility tokens*. Obtenido de SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4088568>
- [11] Lambert, T. L. (2022). Security token offerings. *Small Bus Econ* 59, 299-325.
- [12] Guarín, C. (2019). *BLOCKCHAIN, LA TOKENIZACIÓN DE LA ECONOMÍA Y DEMOCRATIZACIÓN DE LA INVERSIÓN*. Barcelona: UB.
- [13] Rozario A, V. M. (2018). Auditing with Smart Contracts. *Int. J. Digit. Account Res.*, 1-27.
- [14] Zibin, Z. S.-N. (2020). An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms. *Future Generation Computer Systems*, 475-491.
- [15] RED ELÉCTRICA ESPAÑOLA (2022). Obtenido de <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>
- [16] Upadhyay, A. M. (2021). Blockchain Technology and the Circular Economy: Implications for Sustainability and Social Responsibility. *Journal of Cleaner Production*, 293.
- [17] *SendeCO2*. (2022). Obtenido de <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

ANEXOS

ANEXO 1 - FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

**AXITEC**  
high quality german solar brand



**AXIpremium XL HC 430 - 455 Wp**

**Datos eléctricos** (en condiciones estándar de prueba (STC), irradiación de 1000 vatios/m<sup>2</sup> en el espectro AM 1,5 a una temperatura de célula de 25°C)

Tipo	Potencia nominal P <sub>mpp</sub>	Tensión nominal U <sub>mpp</sub>	Corriente nominal I <sub>mpp</sub>	Corriente de cortocircuito I <sub>sc</sub>	Tensión de circuito abierto U <sub>oc</sub>	Coefficiente de rendimiento del módulo
AC-430MH/144V	430 Wp	40,59 V	10,60 A	11,21 A	49,22 V	19,78 %
AC-435MH/144V	435 Wp	40,79 V	10,67 A	11,28 A	49,42 V	20,01 %
AC-440MH/144V	440 Wp	40,99 V	10,74 A	11,35 A	49,62 V	20,24 %
AC-445MH/144V	445 Wp	41,19 V	10,81 A	11,41 A	49,86 V	20,47 %
AC-450MH/144V	450 Wp	41,39 V	10,88 A	11,48 A	50,10 V	20,70 %
AC-455MH/144V	455 Wp	41,61 V	10,94 A	11,54 A	50,34 V	20,93 %

**Estructura**

Lado frontal	cristal blanco templado de 3,2 mm de baja reflexión
Células	144 células monocristalinas de alto rendimiento
Lado posterior	hoja compuesta
Marco	marco de aluminio a la plata de 35 mm

**Datos mecánicos**

L x A x A	2094 x 1038 x 35 mm
Peso	23,8 kg con marco

**Conexión**

Caja de conexión	grado de protección IP68
Cable	aprox. 1,2 m, 4 mm <sup>2</sup>
Sistema de enchufe	enchufe / hembra IP68, Stäubli EVO2 / EVO2 pluggable

**Valores límites**

Tensión del sistema	1500 VDC
NOCT (temperatura de la célula de operación nominal)*	45°C +/-2K
Carga máxima admisible	2400 Pa/m <sup>2</sup>
Corriente de reversión IR	20,0 A
Temperatura de funcionamiento permitida	-40°C a +85°C

(No se deben conectar al módulo tensiones externas superiores al valor máximo de tensión)

\*NOCT, intensidad de irradiación 800 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 velocidad del viento 1 m/sec, temperatura 20°C

**Coefficiente de temperatura**

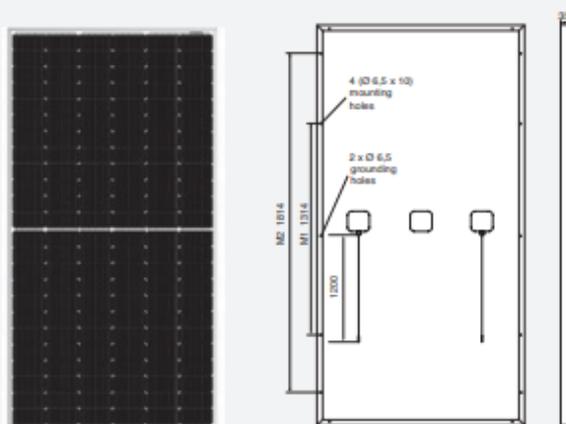
Tensión U <sub>oc</sub>	-0,27 %/K
Corriente I <sub>sc</sub>	0,048 %/K
Potencia P <sub>mpp</sub>	-0,35 %/K

**Luz débil** (Ejemplo para AC-455MH/144V)

Curva característica I/U	Corriente	Tensión
200 W/m <sup>2</sup>	2,24 A	40,05 V
400 W/m <sup>2</sup>	4,51 A	40,51 V
600 W/m <sup>2</sup>	6,74 A	40,82 V
800 W/m <sup>2</sup>	8,91 A	41,17 V
1000 W/m <sup>2</sup>	10,94 A	41,61 V

**Embalaje**

Número de módulos por paleta	30 uds.
Número de módulos por contenedor HC	660 uds.



Todas las medidas en mm

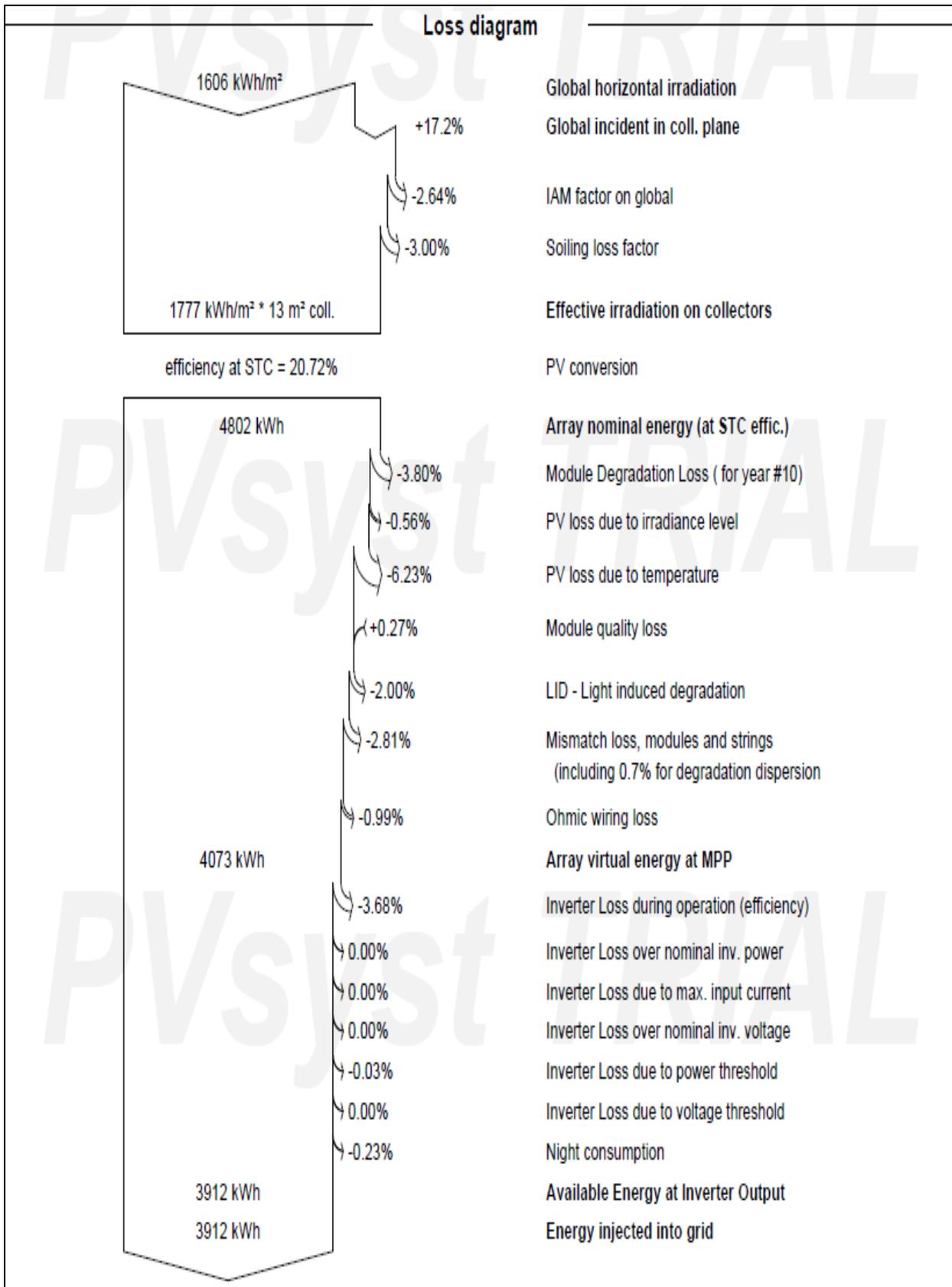
Los datos técnicos pueden ser modificados en cualquier momento sin previo aviso. No se descartan posibles errores. Las tolerancias de medición ascienden a +/-3%. Rogamos que tengan en cuenta lo siguiente: todas las informaciones técnicas que contienen nuestras hojas de datos son propiedad de la empresa Axitec Energy GmbH & Co.KG, y se comunican a nuestros clientes exclusivamente a título informativo. No podemos asumir garantía alguna acerca de la integridad y la exactitud de las informaciones. Queda prohibido cualquier uso comercial de los datos.

ANEXO 2 - FICHA TÉCNICA INVERSOR UTILIZADO

SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 <b>Technical Specification</b>						
Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M1	SUN2000 -4KTL-M1	SUN2000 -5KTL-M1	SUN2000 -6KTL-M1	SUN2000 -8KTL-M1	SUN2000 -10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>	1,100 V					
Operating voltage range <sup>3</sup>	140 V – 980 V					
Start-up voltage	200 V					
Rated input voltage	600 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	15 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. input number per MPP tracker	1					
<b>Input (DC Battery)</b>						
Compatible Battery	HUAWEI Smart String ESS 5kWh – 30kWh					
Operating voltage range	600 V – 980 V					
Max operating current	16 A					
Max charge Power	10,000 W					
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
<b>Output (On Grid)</b>						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading – 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
<b>Output ( Backup Power via Backup Box-B1 )</b>						
Maximum apparent power	3,300 VA					
Rated output voltage	220 V / 230 V					
Maximum output current	15 A					
Power factor range	0.8 leading – 0.8 lagging					
<b>Features &amp; Protections</b>						
Input-side disconnection device	Yes					
Anti-islanding protection	Yes					
DC reverse polarity protection	Yes					
Insulation monitoring	Yes					
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11					
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11					
Residual current monitoring	Yes					
AC overcurrent protection	Yes					
AC short-circuit protection	Yes					
AC overvoltage protection	Yes					
Arc fault protection	Yes					
Ripple receiver control	Yes					
Integrated PID recovery <sup>5</sup>	Yes					
Battery reverse charging from grid	Yes					
<b>General Data</b>						
Operating temperature range	-25 – + 60 °C (-13 °F – 140 °F)					
Relative operating humidity	0 %RH – 100 %RH					
Operating altitude	0 – 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)					
Cooling	Natural convection					
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App					
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)					
Weight (incl. mounting bracket)	17 kg (37.5 lb)					
Dimension (incl. mounting bracket)	525 x 470 x 146.5 mm (20.7 x 18.5 x 5.8 inch)					
Degree of protection	IP65					
Nighttime Power Consumption	< 5.5 W <sup>6</sup>					
<b>Optimizer Compatibility</b>						
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P					
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>						
Certificate	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 62116					
Grid connection standards	G98, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, NRS 097-2-1, IEC61727, IEC62116, DEWA					

<sup>1</sup> Inverter max input PV power is 20,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.  
<sup>2</sup> The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.  
<sup>3</sup> Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.  
<sup>4</sup> C10 / 11: 10,000 VA  
<sup>5</sup> SUN2000-3-10KTL-M1 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly).  
<sup>6</sup> <10 W when PID recovery function is activated.  
 Version No.04-(20201006) SOLAR.HUAWEI.COM/EU/

ANEXO 3 – DIAGRAMA DE PÉRDIDAS DE PVSYS





## ABSTRACT

The main idea of this project is to add value to solar self-consumption assets thanks to the counting of carbon dioxide emissions due to utility tokens based on blockchain technology. The end is that prosumers can get benefits not only from the savings in their electricity bills but also from the ownership of the emissions that their roofs are saving because of the generation of renewable energy to achieve their consumption. A brief view on the solar self-consumption technology in Spain is presented, as well as the basics of blockchain technology and smart contracts. Then, a calculation for the number of tokens that an installation can generate is obtained. Finally, a proposal for the creation of an app that gives value to these tokens is given, proving future benefits and challenges for users. The end of this work is to explore how blockchain technology can improve the number of solar installations made giving extra value to the generation of renewable energy despite proven benefits of self-consumption technology with the objective of increase the installed capacity and break records of houses with this form of energy generation.