



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Industrial

**Estudio de viabilidad técnico-económica de  
instalaciones de abastecimiento energético  
con energías renovables en explotaciones  
porcinas en República Dominicana**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Autor: Lujanna Patricia Bernabé Ferreira**

Director: José Pablo Delgado Marín

:

Cartagena, septiembre de 2020



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



1.	Introducción .....	5
2.	Objetivos .....	6
2.1.	Objetivo General .....	6
2.2.	Objetivos Específicos .....	6
3.	Justificación .....	7
4.	Estado del Arte.....	8
4.1.	Fotovoltaica en explotaciones porcinas. ....	9
4.2.	Antecedentes internacionales.....	9
4.3.	Fotovoltaica Aislada de la red.....	12
4.4.	Recurso solar en la República Dominicana .....	14
4.5.	Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red en la República Dominicana ...	16
4.6.	República Dominicana frente al cambio climático.....	18
4.7.	Marco legal .....	19
4.8.	Explotaciones porcinas en la República Dominicana. ....	20
5.	Proyecto.....	23
5.1.	Emplazamiento .....	23
5.2.	Estimación del requerimiento eléctrico. ....	24
5.3.	Radiación Solar .....	26
5.4.	Temperatura. ....	26
5.5.	Angulo óptimo y orientación.....	28
6.	Detalles Técnicos.....	28
6.1.	Módulo solar fotovoltaico. ....	28
6.2.	Pérdidas.....	29
6.3.	Cálculo de paneles fotovoltaicos. ....	30
6.4.	Acumuladores.....	32
6.5.	Regulador de carga. ....	33
6.6.	Inversor.....	34
6.7.	Emplazamiento .....	34
6.8.	Producción.....	34
7.	Impacto Ambiental .....	37
8.	Cálculo económico.....	39

8.1. Inversión inicial.....	39
8.2. Financiación.....	40
8.3. Costes de explotación .....	41
8.4. Ingresos (Ahorros) .....	42
8.5. Cash Flow.....	42
8.6. Rentabilidad.....	43
9. Conclusiones.....	44
10. Referencias.....	46
11. Bibliografía.....	47

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Paneles fotovoltaicos instalados en granja porcina de Arangón <sup>[1]</sup> . ....	11
Ilustración 2 Instalación de paneles solares en Bon Lechó <sup>[2]</sup> .....	11
Ilustración 3 Instalación de paneles solares en techo de Granja porcina en Almacellas, España <sup>[3]</sup> .....	12
Ilustración 4. Funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado. Fuente:Soliclíma <sup>[16]</sup> .....	13
Ilustración 5. Mapa potencial solar de la República Dominicana. Fuente:Comisión Nacional de energía <sup>[13]</sup> .....	15
Ilustración 6. Instalación fotovoltaica, IDDI Bonaó. Fuente:Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup> .....	16
Ilustración 7. Sistema de acumulación de instalación fotovoltaica en Jarabacoa. Fuente:Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup> .....	16
Ilustración 8. Bombeo solar Inapa. Fuente:Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup> .....	17
Ilustración 9. Instalación fotovoltaica Cap. Cana. Fuente:Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup> .....	18
Ilustración 10. Granja de cerdos en la Rep.Dom. Fuente:Municipios al día. ....	21
Ilustración 11. Ubicación de granjas porcinas financiadas por el gobierno dominicano. Fuente: Google Maps. ....	22
Ilustración 12. Cumayasa, La Romana, R.D. Fuente: Google Maps. ....	23
Ilustración 13. Granja de Cerdos, Cumayasa, La Romana, R.D. Fuente: Google maps. ....	24
Ilustración 14. Perfil de temperaturas medias mensuales en el emplazamiento de la instalación. Fuente: PVGIS-NSRDB-2015. ....	27
Ilustración 15. Panel fotovoltaico 310-330W de Jinko Solar. Fuente: Jinko Solar ...	28
	32
Ilustración 16. Regulador de carga MORNINGSTAR TRISTAR 45A PWM.....	33
Ilustración 17. Inversor seleccionado Fuente: Huawei.....	34
Ilustración 18. Comparativa de la producción de energía generada por la instalación y el consumo.....	36

## Índice de tablas.

Tabla 1. Estimación de consumo de la graja en el mes de Junio. ....	25
Tabla 2. Consumo mensual de granja de Cerdos ubicada en la Romana. Fuente: Empresa Distribuidora de electricidad del Este (Edeeste). ....	25
Tabla 3. Irradiancia de la zona. Fuente: PVGIS-NSRDB-2015.....	26
Tabla 4. Valores de temperaturas medias mensuales. Fuente: PVGIS-NSRDB- 2015.....	27
Tabla 5. Ficha técnica de panel solar 310-330W de Jinko Solar. ....	29
Tabla 6. Rendimiento del panel según la temperatura ambiente de la zona. ....	30
Tabla 7. Productividad del sistema. ....	30
Tabla 8. Cálculo del mes más desfavorable según la irradiancia. ....	31
Tabla 9. Ficha técnica del regulador.....	34
Tabla 10. Producción diario, mensual y anual. ....	35
Tabla 11. Energía generada a lo largo de 25 años de funcionamiento.....	37
Tabla 12. Comportamiento de los gases de efecto invernadero en la industria de la energía, 2010-2018. Fuente: Ministerio de medio ambiente. <sup>[6]</sup> . ....	38
Tabla 13.Emisiones De Gases de efecto invernadero evitados por Kwh de electricidad generada.....	39
Tabla 14.. Cálculo de los costos y gastos iniciales. ....	40
Tabla 15. Presupuesto de la inversión.....	40
Tabla 16.Cuadro de amortización de préstamos. ....	41
Tabla 17. Flujo de caja año 0 al 10.....	43
Tabla 18.Flujo de caja año 11 al 20.....	43
Tabla 19.Flujo de caja año 21 al 25.....	43
Tabla 20. Parámetros de rentabilidad.....	44

## **1. Introducción**

La República Dominicana es una nación localizada en el área central de las Antillas, en la parte oriental de la isla La Española, que forma parte del Caribe en el continente americano. La isla se caracteriza por tener un ambiente tropical en su mayoría, con excepción de áreas de gran altitud donde posee un clima desde el templado oceánico hasta semifrío húmedo. Es un país caracterizado por poseer una gran relevancia en el área de la agricultura y la ganadería, siendo estos uno de los renglones más importantes para la economía del país.

En los últimos años el gobierno dominicano dedicó gran esfuerzo y recursos para impulsar la ganadería del país y generar empleos para la clase más necesitada, mediante un programa de otorgación de donaciones y préstamos con mínimas tasas de interés. Con este programa cientos de cooperativas y asociaciones de agricultores y ganaderos tuvieron la oportunidad de emprender con sus respectivos oficios con los medios económicos necesarios.

Entre estos proyectos, los más destacados fueron la construcción de granjas porcinas, en el país existen más de 10 asociaciones de productores ganaderos beneficiados por este programa los cuales son productores porcinos. Uno de los grandes retos para la realización de estos proyectos tenía que ver con la electrificación de los mismos, ya que, en muchos de estos proyectos, por la ubicación geográfica de los mismos, no poseían acceso a energía eléctrica.

La República Dominicana es una nación que se encuentra en vía de crecimiento y desarrollo, que cada día va avanzando poco a poco, el sistema eléctrico del país, comparado con muchos otros, no está desarrollado como se desearía, se podría decir que le falta mucho por madurar. En el país existen lugares que aún no han sido electrificados, donde la red eléctrica todavía no ha llegado, son miles que aún no tienen el privilegio de contar con sistema eléctrico. Es por esto que, la implementación de energías renovables sería la solución idónea para resolver esta problemática, ya que se podría implementar pequeñas o grandes centrales renovables para dar respuesta a este enigma.

En este trabajo realizaremos un análisis técnico y económico para estudiar la implementación de energías renovables en las granjas de explotaciones porcinas, con el propósito de solucionar problemas de energía y además contribuir a la implementación y desarrollo de la sostenibilidad en el país.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Este Trabajo de Fin de Máster tiene como objetivo general demostrar la viabilidad técnico-económica de instalaciones de abastecimiento energético con energías renovables en explotaciones porcinas en República Dominicana.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Por otro lado, como objetivos específicos se tienen los siguientes:

- Realizar el balance energético de una granja tipo.
- Verificar la factibilidad de la cobertura de la demanda de las granjas. que tan efectivo será el implemento de estas tecnologías a corto y a largo plazo.
- Diseñar una instalación fotovoltaica para la electrificación de la granja.
- Analizar la parte económica, la inversión que sugiere este proyecto y los beneficios que pueda o no traer consigo este tipo de inversión.
- Estudiar la probabilidad de impacto ambiental que podría producir la construcción de la instalación.

### **3. Justificación**

Como arquitecta, uno de los retos que he enfrentado en mi carrera es el diseño en el sector agropecuario, con oportunidad de formar parte del diseño y de un conjunto de proyectos cuyo objetivo era la construcción de granjas porcinas en varias partes del país. En este tipo de construcciones es muy común el alejamiento de la obra de las ciudades debido a los malos olores y al ruido que pueden emitir este tipo de proyecto. Uno de los mayores retos en este tipo de estructuras es la electrificación de los mismos, ya que, por el mismo hecho de tener que ser concebidas en lugares lejanos a la civilización, muchos de estos lugares no poseen el acceso a la energía eléctrica.

Tener que llevar energía a lugares apartados incrementa el costo del proyecto y los hace inviables para los productores de este país ya que el financiamiento sería demasiado elevado y con la producción de cerdos se tardaría muchos años para poder ser saldados, lo cual no es el fin de estos proyectos los cuales pretenden sacar de la pobreza a grupos de personas trabajadoras.

Estas granjas son proyectos que van desde las 200 hasta las 400 madres, cada madre tiene la capacidad de parir 20 cerdos al año aproximadamente, lo que hace a los proyectos granjas de 4000 y 8000 cerdos anuales. Los cerdos nacen, crecen y son engordados hasta obtener el tamaño para ser comercializados. Las cerdas madre y los cerdos de engorde pueden producir cada uno hasta 9.5 kg/día de excremento, los más pequeños 4.2 kg/día.

Se pretende implementar en las granjas el uso de energía renovable, con la puesta en marcha de una instalación fotovoltaica aislada de la red, los paneles solares van excelente para el tipo de clima tropical que existe en el país y las horas de sol que hay al día.

## 4. Estado del Arte

El estudio del estado del arte permitirá obtener conocimientos sobre los temas concernientes a este estudio, se pretende analizar la situación actual de la implementación de tecnologías renovables en el ámbito ganadero, específicamente en las explotaciones porcinas. La tecnología que se pretende aplicar es la fotovoltaica (aislada de la red).

El cerdo es un componente importante en la alimentación del ser humano, la mayoría de las partes del cerdo se pueden consumir y hay un sin número de recetas alimenticias que se preparan con el cerdo. Los beneficios de comer carne de cerdo para la nutrición humana son diversos. Primero, los cerdos son una fuente valiosa de proteínas y aminoácidos esenciales que los humanos deben obtener de fuentes externas porque no pueden sintetizarlos. La carne de cerdo es una fuente de vitaminas y minerales que son esenciales para el crecimiento de los seres humanos <sup>[4]</sup>.

Con la finalidad de la producción en masa de este tipo de alimentos, se crean las granjas de cerdos a menor o mayor escala según la producción de estas. Para el funcionamiento efectivo y eficiente de las mismas es necesario contar además de la parte técnica del funcionamiento ganadero, con la parte técnica del funcionamiento eléctrico. La electrificación en las granjas de cerdos es de suma importancia, ya que para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento exitoso de los cerdos se deben de cumplir ciertos criterios de limpieza, mantenimiento y climatización, lo cual no sería posible sin el buen desarrollo energético de la instalación.

Las explotaciones porcinas existen en todas partes del mundo, pero no funcionan de igual manera en un país que en otro. Según la ubicación geográfica y los cambios bruscos o ligeros de clima, las granjas van a demandar más o menos kilovatios de energía para poder laborar exitosamente. En los climas donde hace mucho frío se necesita mantener a los cerdos en una temperatura específica para poder mantenerlos vivos, al igual que en climas muy calurosos.

En el caso de la República Dominicana, este país se caracteriza por tener un tropical cálido, que se distingue por ser una temperatura convenientemente estable a lo largo de todo el año, que ronda entre 25 y 35 °C. Las temperaturas más elevadas se alcanzan en verano entre los meses de julio y agosto, mientras que de noviembre a enero se modifican un poco disminuyendo a 18 °C, en regiones de gran altitud, y 24 °C en el resto del país. Gracias a esto la demanda de energía para la climatización de los galpones donde se ubican los cerdos, no es tan alta como en otros países.

#### **4.1. Fotovoltaica en explotaciones porcinas.**

La energía solar fotovoltaica se destaca en el área de la ganadería como solución factible porque proporciona una salida para las granjas tanto para las que desean ahorrar en las facturas de la luz o las que no tienen acceso al tendido eléctrico como también las que desean desconectarse totalmente de la red eléctrica. La instalación de paneles solares en granjas tiene varias ventajas, ya que los techos de los galpones son altos e inclinados, además las instalaciones no obstaculizan el funcionamiento técnico de la granja y adicional a esto se obtiene energía totalmente limpia y renovable. Un punto importante es el bienestar de los cerdos, los cuales son muy delicados en su crianza y crecimiento, las placas solares son silenciosas, lo que significa que no producirán molestias para estos. En el ámbito económico, este tipo de tecnología suele amortizarse entre los 4 y 5 años de funcionamiento, lo que las hace una inversión viable.

#### **4.2. Antecedentes internacionales.**

La inclusión de energías limpias en explotaciones porcinas no es una novedad, en granjas de todo el mundo se está aplicando esta tecnología como respuesta a la necesidad eléctrica que poseen este tipo de estructuras.

La Agencia Internacional de las Energías Renovables (Irena) en su artículo "Energía Solar", define la energía fotovoltaica (PV), también llamada células solares, como dispositivos electrónicos que convierten la luz solar directamente en electricidad. La celda solar moderna es probablemente una imagen que la mayoría de la gente reconocería: están en los paneles instalados en las casas y en las calculadoras. Fueron inventados en 1954 en Bell Telephone Laboratories en los Estados Unidos. En la actualidad, la fotovoltaica es una de las tecnologías de energía renovable que va aumentando y desarrollándose con rapidez y está preparada para interpretar un rol relevante en el futuro mix global de producción de electricidad <sup>[5]</sup>..

Por otro lado según Iberdrola en su artículo "¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?", La energía solar fotovoltaica se obtiene convirtiendo la luz solar en electricidad mediante tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Es una fuente de energía renovable, inagotable y no contaminante que se puede producir en diversas instalaciones que van desde pequeños generadores de autoconsumo hasta grandes centrales fotovoltaicas.

En la ciudad de Aragón en España, quienes son considerados como la ciudad autónoma líder en explotaciones porcinas, las granjas deben estar separadas a 1 o 2 kilómetros de distancia según corresponda, lo que significa que puede que algunas puedan estar alejadas de la red eléctrica. Hace pocos años se llevó a cabo en esta ciudad un proyecto de integración fotovoltaica en una granja que se acababa de construir. El proyecto consistió en una instalación fotovoltaica aislada para el abastecimiento de energía de todo el proyecto porcino. Se necesitaba alimentar al 100% una granja de cría de 10,000 cerdos, por lo que se necesitaba generar electricidad para suplir energía para abanicos de techo para la climatización efectiva del recinto, mecanismos para el método de alimentación de los cerdos, maquinaria de limpieza automática, bombas de aguas sanitarias, luces, equipos de inspección del clima interior de los galpones, maquinaria para abrir los respiraderos, control de ACS y electrificación de un pequeño despacho.

La solución a este proyecto fue la implementación de paneles fotovoltaicos aislados de la red instalación aislada. Esta se concibió para abarcar toda la demanda eléctrica del proyecto porcino especialmente en los periodos en los que no se cuenta con luz solar donde es más elevado el consumo. En las horas donde no hay radiación solar, la demanda es solventada por los inversores sin necesidad de usar las baterías. Esto será posible siempre que haya una irradiancia efectiva y los consumos no sobrepasen la potencia instalada en cubierta. Si esto no se cumple, funcionan las baterías <sup>[1]</sup>.

La tecnología utilizada son equipos eléctricos trifásicos aislados que pueden proporcionar todos los consumos existentes en campo. El proyecto fotovoltaico está constituido por 152 módulos fotovoltaicos con una potencia pico de 45 kW, estos se encuentran instalados en las cubiertas de los galpones, 3 inversores de conexión a red, cargador, inversor, regulador, 24 baterías y un sistema de monitorización. <sup>[1]</sup>.



*Ilustración 1 Paneles fotovoltaicos instalados en granja porcina de Arangón <sup>[1]</sup>.*

Por otro lado, en la misma ciudad de Arangón, específicamente en Alcampell (Huesca), una explotación agropecuaria con una gran demanda de energía puede abastecerse con energía solar, esta granja de 900 madres de cerdos también opto por la obtención de energía limpia a través de la instalación de paneles solares. Este proyecto es un sistema de energía solar fotovoltaica aislado de la red, con una potencia 36,75 kWp, el cual pretende abastecer el 60% del consumo de la instalación porcina. La instalación cuenta con 150 paneles solares de 245Wp y utiliza un banco de 48 baterías para poder almacenar la energía sobrante de las horas del sol y poder ser utilizada en las horas diurnas <sup>[2]</sup>.



*Ilustración 2 Instalación de paneles solares en Bon Lechó <sup>[2]</sup>.*

Otro caso exitoso similar a los anteriores es el de la granja porcina de engorde en Almacellas en Lérida. Esta granja tiene en la actualidad una instalación fotovoltaica con una capacidad de salida de inversores de 45kW y un área fotovoltaica de casi 60 kWp, compuesta por 220 módulos fotovoltaicos de 270Wp, dos inversores-convertidores de 27kW, tres inversores de aislada de 15 kVA, tres reguladores de carga de 250V 100A, baterías OPzS 4600Ah 24 elementos de 2V y un grupo electrógeno de apoyo de 80kVA [3].



*Ilustración 3 Instalación de paneles solares en techo de Granja porcina en Almacellas, España [3].*

Esta instalación tiene un consumo eléctrico elevado, trabajo con alimentación líquida y ventilación natural, inicialmente trabajaba con conexión a red, pero luego de la experiencia con la conexión aislada, se desconectó totalmente de la red eléctrica y en la actualidad trabaja totalmente con energía limpia proveniente del sol[3].

#### **4.3. Fotovoltaica Aislada de la red.**

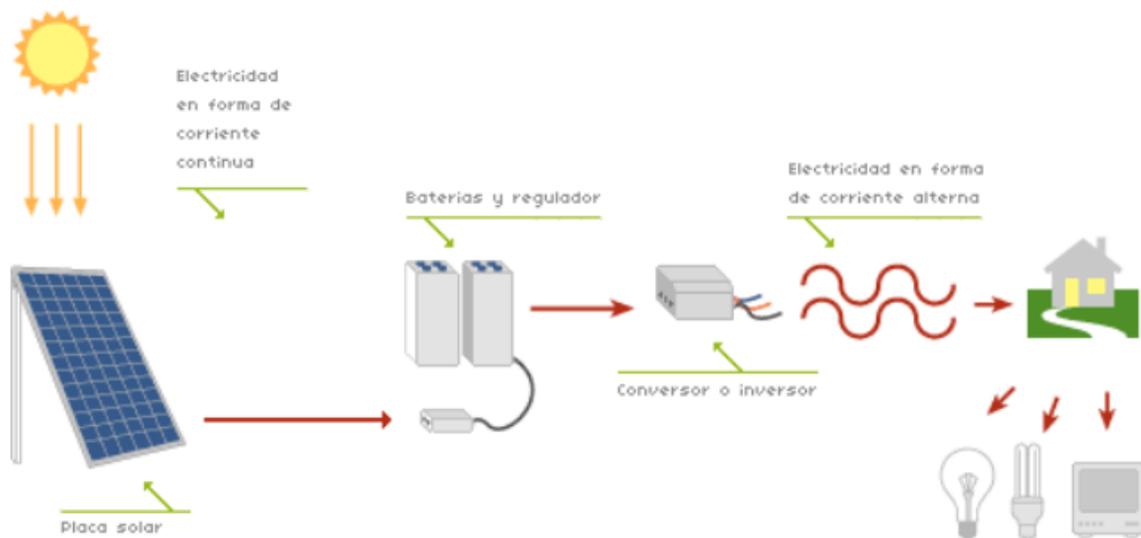
La energía solar fotovoltaica es una tecnología basada en el efecto fotovoltaico que utiliza materiales que pueden absorber fotones y liberar electrones para generar electricidad y convertir la radiación solar en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red son sistemas que se utilizan para abastecer de energía eléctrica a receptores aislados, como señales de tráfico por ejemplo o viviendas o industrias aisladas que no disponen de conexión a la red eléctrica de distribución [14].

El equipo de generación de energía solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de energía que no está conectado a la red que proporciona energía del sol para el propietario. Por lo general, necesita almacenar la energía fotovoltaica generada en células solares (o baterías) y permitir su uso las 24 horas del día. <sup>[15]</sup>.

Estos dispositivos fotovoltaicos aislados son muy adecuados para áreas que no pueden o no están planeadas para conectarse a la red porque el sistema eléctrico en esta área es costoso de construir, especialmente en áreas rurales remotas. En los sistemas de aislamiento de corriente alterna, se utilizan inversores fotovoltaicos tradicionales para inyectar corriente a la red. El sistema fotovoltaico suele estar formado por paneles solares, controladores de carga, células solares, inversores fotovoltaicos, etc. Se recomienda utilizar un monitor de batería para controlar el estado de carga de la batería <sup>[15]</sup>.

La energía solar fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, que transforma directamente la energía proveniente de los rayos solares en energía eléctrica. Para conseguir electricidad, se debe generar una diferencia de potencial. Se necesitan usarse materiales conductores porque sus electrones tienen mayor actividad y son dóciles para generar corriente <sup>[16]</sup>.



*Ilustración 4. Funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado. Fuente: Soliclíma<sup>[16]</sup>.*

Componentes de la instalación:

Los paneles o módulos solares fotovoltaicos utilizan ciertos materiales semiconductores (como el silicio) para absorber fotones y convertirlos en una corriente continua de electrones, electricidad. La electricidad es recolectada por hilos metálicos y finalmente conducida al regulador <sup>[16]</sup>.

Regulador de carga: Controla la entrada de energía de la batería y la protege de sobrecargas o caídas de voltaje que pueden dañar la batería. Los modelos avanzados encenderán el grupo electrógeno para generar electricidad cuando la batería esté en peligro. <sup>[16]</sup>.

Baterías y cargador: Se debe inyectar energía en la batería para que pueda usarse cuando sea necesario (generalmente por la noche). Esto es lo que ocurre cuando se instala un equipo fotovoltaico en una vivienda unifamiliar o cuando la demanda de energía supera la oferta que proporciona el sector. <sup>[16]</sup>.

Inversor: Se utiliza para convertir la corriente continua generada por el campo eléctrico fotovoltaico en corriente alterna de onda senoidal, que es la que se puede utilizar para fuentes de alimentación eléctrica convencionales. Con él, el grupo electrógeno generalmente se inicia <sup>[16]</sup>.

#### **4.4. Recurso solar en la República Dominicana**

La República Dominicana cuenta con un gran potencial de energía solar. En la mayor parte del país, la irradiancia horizontal global (GHI) varía de 5 a 7 kilovatios hora por metro cuadrado por día (kWh / m<sup>2</sup> / día), y en algunas áreas se acerca a los 8 kWh / m<sup>2</sup> / día. <sup>[13]</sup>.

Según los estándares mundiales, Santo Domingo tiene abundante recurso solar. El GHI promedio de la planta de Santo Domingo es de 5,45 kilovatios-hora (kWh) por metro cuadrado por día. En comparación con la mayoría de las otras partes del Caribe, esto es ventajoso y es mucho más alto que las altas tasas de penetración actuales en Europa y Asia. <sup>[13]</sup>.

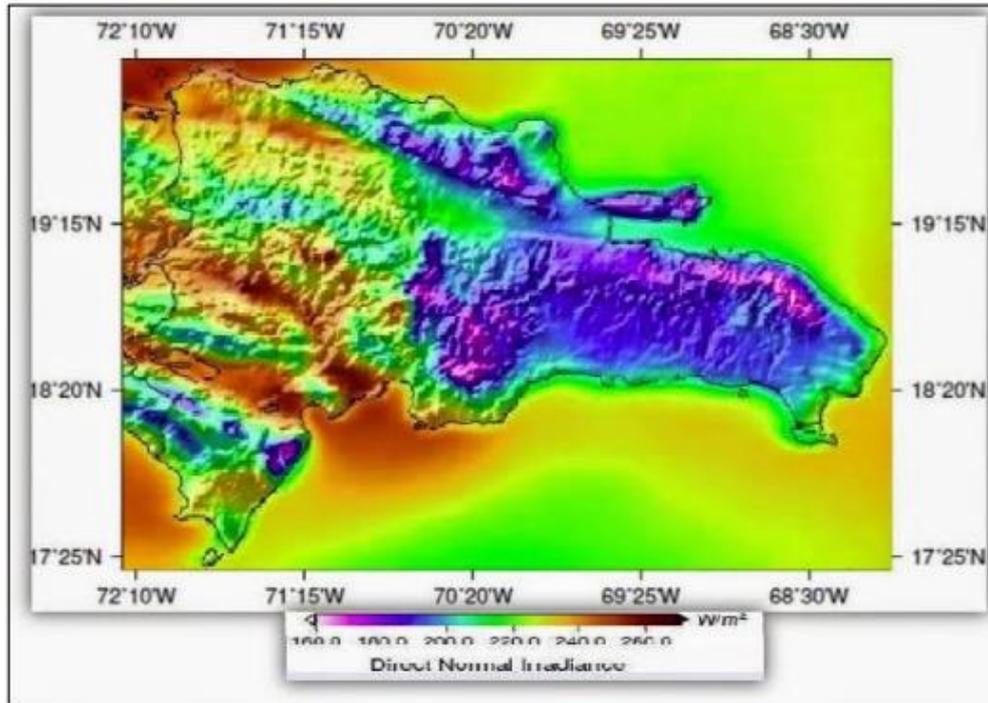


Ilustración 5. Mapa potencial solar de la República Dominicana. Fuente: Comisión Nacional de energía<sup>[13]</sup>.

Según el informe “Estrategia para un Sistema de Energía Sustentable” del World watch Institute, la GHI promedio fue más alto en abril y mayo, con un promedio de 6.29 kWh / m<sup>2</sup> / día (262.1 W / m<sup>2</sup>) en mayo. El GHI en marzo, junio, julio y agosto estuvo entre 5,82 y 6,08 kWh / m<sup>2</sup> / día, pero descendió rápidamente en el resto del mes, de octubre a febrero el GHI estuvo por debajo de 5,07 kWh / m<sup>2</sup> / día. día <sup>[13]</sup>.

En República Dominicana, la generación de energía solar fotovoltaica se ha utilizado desde hace varios años en áreas apartadas de la red para alimentar casas y comercios en áreas remotas, infraestructura aislada, entre otras. Siendo uno de los más importantes distribuidores de servicios de comunicación más importantes del país, Orange llegó a instalar paneles solares de 800 vatios en más de 500 de sus 800 torres solares para transformar cada una de las 67 torres. país. Esta iniciativa fue idea de uno de los dueños de la compañía, y se fundamenta en la implementación exitosa de un plan similar en África, que ha disminuido los gastos de combustible en un 15%. <sup>[13]</sup>

#### 4.5. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red en la República Dominicana

En la ciudad de Bonao, monseñor Nouel, se realizó una pequeña instalación fotovoltaica para la alimentación de una pequeña escuela. Esta instalación cuenta con un aproximado de 90 paneles solares, inversor y un sistema de acumulación. <sup>[14]</sup>



*Ilustración 6. Instalación fotovoltaica, IDDI Bonao. Fuente: Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup>*

Por otro lado, en la parte montañosa del país, se realizó una instalación Fotovoltaica para la electrificación de un Centro Religioso en Serranía – Jarabacoa. Este proyecto tiene un amplio campo de acumulación, con baterías estacionarias OPzS.



*Ilustración 7. Sistema de acumulación de instalación fotovoltaica en Jarabacoa. Fuente: Grupo Arroyo. <sup>[14]</sup>*

También se han implementado para bombeo de agua, como es el caso del proyecto de Bombeo solar realizado para INAPA, para 50 metros cúbicos/día de agua y una altura manométrica total de 80 metros. Impulsado por un sistema fotovoltaico de 6.9 kWp instalados, para un acueducto rural ubicado en Aguas Negras en la provincia de Pedernales.



*Ilustración 8. Bombeo solar Inapa. Fuente:Grupo Arroyo.<sup>[14]</sup>*

Por otro lado, se instaló una instalación para una residencia privada en Punta Cana, la cual cuenta con paneles fotovoltaicos, baterías, Inversores y Reguladores.



*Ilustración 9. Instalación fotovoltaica Cap. Cana. Fuente:Grupo Arroyo.<sup>[14]</sup>*

#### **4.6. República Dominicana frente al cambio climático**

La República Dominicana se encuentra en el centro del Mar Caribe. Es un país extremadamente vulnerable al cambio climático. El cambio climático afecta al mundo. Las temporadas de lluvias extremas provocan el desbordamiento de ríos y arroyos, o las sequías prolongadas provocan una disminución significativa de la producción agrícola.

Si bien la contribución de República Dominicana a las emisiones globales de gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global es muy baja, el país es consciente de los efectos de este fenómeno en diversos grados. Por un lado, ha comenzado a abordar el tema del cambio climático. Por otro lado, también está desarrollando soluciones para aumentar la adaptabilidad al cambio climático y mejorar sus sistemas sociales y ecológicos.<sup>[17]</sup>

Especialmente en lo que respecta al cambio climático, el país ha ejecutado grandes progresos en la preparación del sistema propuesto. Se prepararon tres comunicaciones nacionales de la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), planes de crecimiento monetarios adaptados al cambio climático, y colaboración esperadas y definidas a nivel interno, con el objetivo específico de reducir los gases de efecto invernadero para 2030. Ha avanzado en la incorporación del cambio

climático en sus políticas y lo ha utilizado como eje horizontal en todos los elementos sociales, económicos y el medio ambiental. En la segunda comunicación nacional, la minimización y acoplamiento al cambio climático ha sido considerada como un elemento fundamental del escenario político dominicano y ha jugado un papel importante en el direccionamiento de las políticas nacionales en todos los niveles. No obstante, aún falta un largo recorrido para integrar los temas del cambio climático en las políticas nacionales de manera verdadera y efectiva. [17].

Los principales desafíos que debe enfrentar el país incluyen: fortalecer el cumplimiento de la ley; diseñar e implementar planes adecuados para utilizar las zonas y sus recursos; optimizar el financiamiento para las labores de mitigación y acomodo; acrecentar el espacio de colaboración; aumentar el gobierno responsable del tema. Coherencia entre instituciones; fortalecimiento de la difusión y expansión de modelos exitosos de generación eléctrica local [17].

#### **4.7. Marco legal**

- Ley No. 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.

De los principales propósitos de la Ley N ° 57-07 de fomento de las energías renovables y su régimen especial es disminuir la importación de combustibles fósiles y reducir la dependencia que tiene el país de estos, propiciando así la diversificación de fuentes de energía renovables. Promover la independencia energética en República Dominicana desde el punto de vista ambiental, social y económico, esto se puede lograr combinando alternativas locales limpias para satisfacer las necesidades del país de manera sostenible.

- Ley General sobre Medio Ambiente (Ley 64-00) de República Dominicana, el objetivo principal de esta ley es Establecer estándares para la protección, mantenimiento, mejora y renovación del medio ambiente y los recursos naturales para fortalecer su uso sostenible.

#### **4.8. Explotaciones porcinas en la República Dominicana.**

En el país la agricultura y la ganadería son de las actividades más importantes y relevantes para el desarrollo de la economía nacional. El sector agropecuario de República Dominicana tiene una importancia social y económica importante, el área utilizada para la producción agrícola es de 2.6 millones de hectáreas y más de 250,000 dominicanos y dominicanas trabajan, se dedican y viven para el desarrollo de este sector.

El gobierno dominicano con el fin de desarrollar y enriquecer aún más esta área invirtió esfuerzo y dinero para que los agricultores y ganaderos que no cuentan con los recursos para desarrollar sus habilidades puedan emprender con sus proyectos y además contribuir al progreso y al avance del sector.

Con un programa de dedicado al desarrollo agropecuario, el gobierno dominicano realizó donaciones y préstamos con baja tasa de interés, a aquellos grupos de cooperativas y asociaciones con interés de trabajar y prosperar, creando así fuentes de empleos a los más necesitados y en adición a eso, realizando un aporte significativo para el desarrollo efectivo de la ganadería y agricultura nacional.

En el caso específico de la ganadería, se realizaron operativos para explotaciones bovinas, avícolas, cunicultura, entre las más importantes, la porcina.

Los préstamos o donaciones para explotaciones porcinas consistían en el diseño y construcción de las granjas, así como también el equipamiento de las mismas, granjas de 200 a 400 cerdas madres.

Estas granjas cuentan con naves de destete, parideras, gestación y engorde, con el fin de criar a los cerdos y venderlos para así generar ingresos.



*Ilustración 10. Granja de cerdos en la Rep.Dom. Fuente:Municipios al día.*

Las granjas de cerdos tienen la particularidad de que generan mucha contaminación, creada por el excremento de los cerdos y el mal olor que estos poseen, aparte del ruido que producen los animales. Por esta razón las granjas deben estar lo más alejado de ríos o mares, así como también de viviendas o comercios, lo que causa que se deban de construir alejados de las ciudades, donde no causen problema alguno por lo antes mencionado. Debido a esto, muchas de las instalaciones porcinas se construyen donde escasea la red eléctrica o en el peor de los casos, esta ni siquiera existe, es decir, el tendido eléctrico no llega a esos lugares remotos del país. A continuación, un mapa de los lugares donde se encuentran estas granjas en el país.

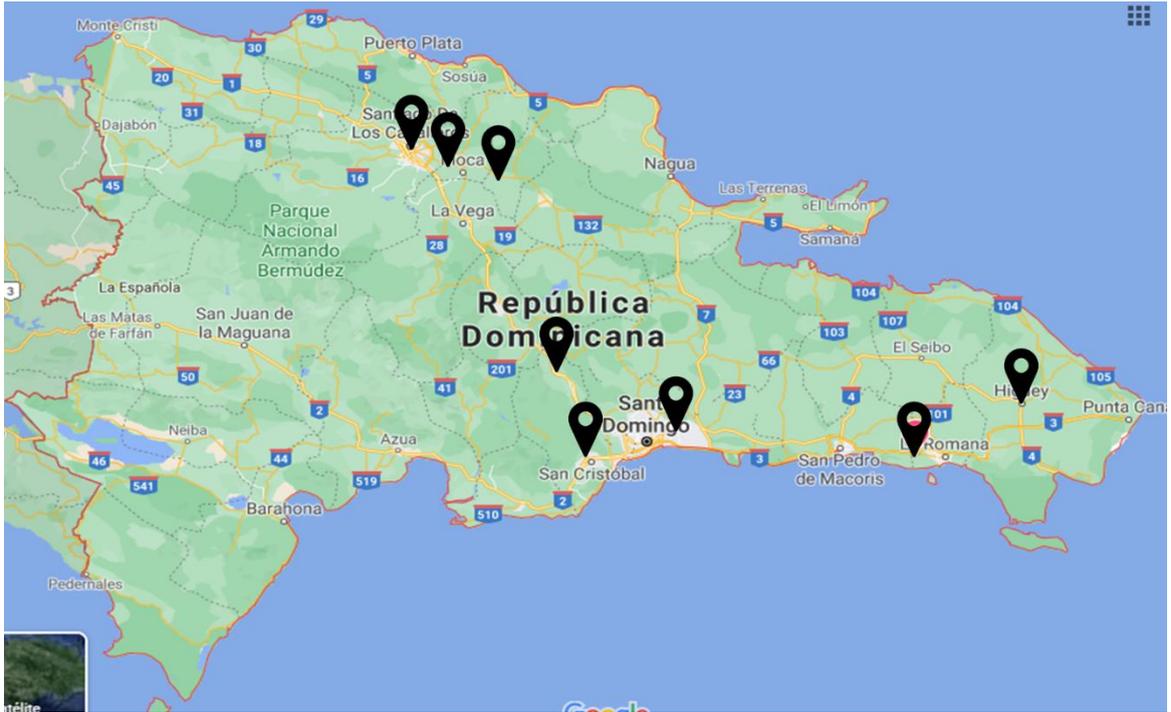


Ilustración 11. Ubicación de granjas porcinas financiadas por el gobierno dominicano. Fuente: Google Maps.

Algunas de estas granjas siguen en proceso constructivo, la mayoría tienen problemas en el aspecto eléctrico y son grandes prospectos para uso de energías renovables.

## 5. Proyecto.

### 5.1. Emplazamiento

La instalación fotovoltaica, cuya viabilidad se pretende estudiar en el presente documento, se encuentra localizado en una granja de cerdos ubicada en La Noria, municipio Guaymate, provincia La Romana en la parte este de la República Dominicana.



*Ilustración 12. Cumayasa, La Romana, R.D. Fuente: Google Maps.*

La granja de cerdos está ubicada exactamente a 20 kms de la ciudad de la Romana, en una zona rural apartada de todas las infraestructuras y servicios importantes.

Latitud: 18.4919

Longitud: -69.0817



Ilustración 13. Granja de Cerdos, Cumayasa, La Romana, R.D. Fuente: Google maps.

La granja está compuesta por 8 naves, dos naves de gestación, dos de paridera, tres de engorde y una de destete. El proyecto se diseñó para 300 cerdas madres y pretende suplir el mercado nacional y mejorar las condiciones económicas de la zona. Esta granja es una de un grupo de granjas que se inauguraron o están siendo construidas con un programa de ayuda para los ganaderos del país que tiene el gobierno. Algunas de estas granjas están ubicadas en lugares con acceso a energía eléctrica y otras no, en el caso de la granja tipo a estudiar, esta no posee acceso a la energía eléctrica.

## 5.2. Estimación del requerimiento eléctrico.

Para el cálculo de la demanda eléctrica de la granja se realizó una estimación del consumo de la granja en el mes con más demanda, además se utilizó los datos de la demanda y consumo eléctrico de una granja igual a la que se está estudiando, la cual está conectada a la red eléctrica y está en pleno funcionamiento desde junio del 2019.

Estimación de consumo de la granja en el mes de junio.						
Ubicación	Equipos	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total	h/día	kWh
Mantenimiento	Bomba de agua 3/4 HP	552	2	1104	3	3.312
Nave de gestación (2)	Iluminación	60	20	1200	6	7.2
	Ventilación	490	8	3920	4	15.68
	Hidrolavadora	1400	2	2800	1.5	4.2

Nave de paridera (2)	Iluminación	60	25	1500	6	9
	Ventilación	490	8	3920	4	15.68
	Hidrolavadora	1400	2	2800	1.5	4.2
				0		
Nave de engorde (3)	Iluminación	60	40	2400	6	14.4
	Ventilación	490	12	5880	4	23.52
	Hidrolavadora	1400	3	4200	1.5	6.3
Nave de destete (1)	Iluminación	60	10	600	6	3.6
	Ventilación	490	4	1960	4	7.84
	Hidrolavadora	1400	1	1400	1.5	2.1
				Total día		117.032
				Total mes		3627.992

Tabla 1. Estimación de consumo de la granja en el mes de Junio.

Para realizar el cálculo previsto del consumo de la granja, se tomaron en cuenta todos los equipos que se utilizan en la granja, la potencia correspondiente a cada uno y las horas al día que estos se utilizan. Según estos cálculos, la granja en el mes de mayor demanda consume 117 kWh al día y unos 3628 kWh al mes.

Tomando los datos de una granja igual a la que se está estudiando, la cual tiene desde junio del año 2019 en funcionamiento que está conectada a la Compañía de Distribución de electricidad de la zona Este del país (edeeste). Fueron recopilados de la facturación de Edeeste, desde julio 2019 hasta junio 2020, los datos de demanda y consumo de esta granja.

Granja de Cerdo conectada a la red		
Mes	Consumo en kWh	Monto pagado RD\$
jul-19	3320	RD\$36,096.24
ago-19	3400	RD\$36,966.03
sep-19	3440	RD\$37,400.92
oct-19	3280	RD\$35,661.34
nov-19	3240	RD\$35,226.45
dic-19	3100	RD\$33,704.32
ene-20	2950	RD\$32,073.46
feb-20	2890	RD\$31,421.12
mar-20	2600	RD\$28,268.14
abr-20	2400	RD\$26,093.67
may-20	2550	RD\$27,724.52
jun-20	3630	RD\$39,466.67

Tabla 2. Consumo mensual de granja de Cerdos ubicada en la Romana. Fuente: Empresa Distribuidora de electricidad del Este (Edeeste).

Realizando la comparación del mes de estudio de la granja en la que se está realizando el estudio con la granja que está en funcionamiento y conectada a la red, se puede visualizar

que en el mes de estudio la demanda es muy similar, por lo que se tomará como referencia los datos mensuales de esta granja para realizar el estudio de viabilidad de nuestra granja, el monto pagado nos será útil para realizar el análisis económico de la inversión.

### 5.3. Radiación Solar

Considerando los datos proporcionados por PVGIS para la Latitud: 18.4919 y Longitud: -69.0817, PVGIS nos da los siguientes valores para las irradiaciones medias mensuales en el emplazamiento de nuestra instalación de estudio.

Mes	Hh	Hopt. (20°)	H(15°)
Enero	4254	5202	5011
Febrero	5259	6099	5943
Marzo	6528	6942	6900
Abril	5659	5535	5609
Mayo	5705	5310	5447
Junio	5685	5175	5339
Julio	5968	5501	5656
Agosto	5497	5266	5360
Septiembre	5492	5593	5611
Octubre	4267	4629	4573
Noviembre	4521	5383	5213
Diciembre	4148	5148	4943

Tabla 3. Irradiancia de la zona. Fuente: PVGIS-NSRDB-2015.

*Hh: Irradiación global horizontal (Wh/m2/día)*

*Hopt: Irradiación global con el ángulo óptimo, 20° (Wh/m2/día)*

*Hopt: Irradiación global con el ángulo de inclinación del techo (Wh/m2/día)*

### 5.4. Temperatura.

Los datos de temperaturas medias mensuales también se obtuvieron de PVGIS, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Mes	Temperatura
Enero	25.9°
Febrero	25.1°
Marzo	25.1°
Abril	25.7°
Mayo	26.1°
Junio	26.8°
Julio	27°
Agosto	27.4°
Septiembre	27.6°
Octubre	27.4°
Noviembre	26.4°
Diciembre	25.2°

Tabla 4. Valores de temperaturas medias mensuales. Fuente: PVGIS-NSRDB-2015

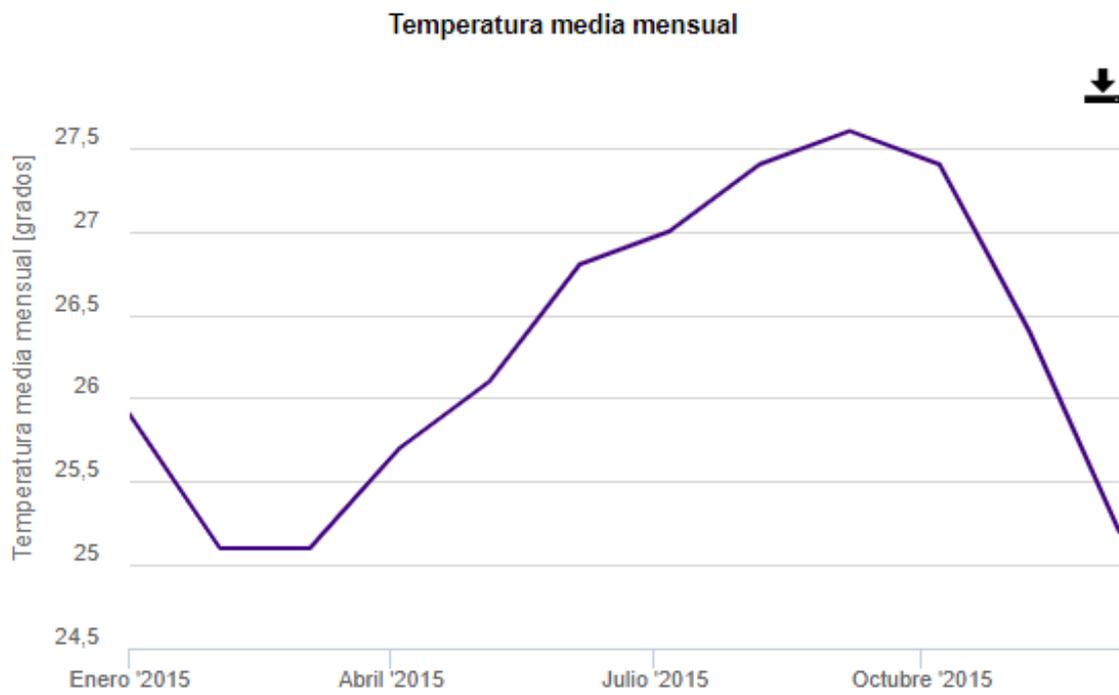


Ilustración 14. Perfil de temperaturas medias mensuales en el emplazamiento de la instalación. Fuente: PVGIS-NSRDB-2015.

## 5.5. Angulo óptimo y orientación.

El ángulo óptimo proporcionado por PVGIS es de 20°, por otro lado, las naves tienen una inclinación de techo de 15°. En este caso, como no hay tanta diferencia entre las opciones, se aprovechará la inclinación del techo de las naves de 15°.

Con respecto a la orientación, en la República Dominicana por su localización, la colocación de los paneles es hacia el sur geográfico. En el caso de las granjas de cerdos, los techos tienen una inclinación norte-sur, por lo tanto, se ubicarán los módulos en la parte sur de los mismos.

## 6. Detalles Técnicos.

### 6.1. Módulo solar fotovoltaico.

Para el presente estudio de viabilidad se ha empleado el módulo solar JKM330PP-72 de Jinko Solar de 330Wp de potencia.



*Ilustración 15. Panel fotovoltaico 310-330W de Jinko Solar. Fuente: Jinko Solar*

<i>Placa Solar 330Wp Jinko Eagle JKM330PP-72</i>	
$P_p$ (W):	330
$I_{sc}$ (A):	9.14
$V_{oc}$ (V):	46.9
$I_{mpp}$ (A):	8.74
$V_{mpp}$ (V):	37.8
NOCT (°C):	47
FF:	0.770697933
PCE(%):	17.04%
Coef Temp 1 (mV/°C):	0.4
Coef Temp 2 (W/°C):	-0.3
Coef Temp 3 (%/°C):	0.06
Tamaño-largo (m):	1.956
Tamaño-ancho (m):	0.99
Peso (Kg):	26.5
Garantía ( $T_{80}$ ) (años):	25
Coef Degrad (%/año):	0.80%
Precio (euros):	175
Precio (euros/ $W_p$ ):	0.53

Tabla 5. Ficha técnica de panel solar 310-330W de Jinko Solar.

## 6.2. Pérdidas

Para calcular la producción de energía, se deben considerar las pérdidas. La generación de energía en el panel, el inversor e incluso la conversión de cables y conectores provocarán pérdidas. La pérdida causada por la temperatura es la que tiene mayor impacto en los paneles solares y puede ser determinada por los datos del proveedor y la temperatura promedio de la ubicación.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} G$$

$$R_T = 100 - K_t(T_c - 25)$$

$T_c$ : la temperatura del módulo fotovoltaico.  
 $T_a$ : la temperatura ambiental de la ubicación.  
 $R_t$ : rendimiento del módulo fotovoltaico.  
 $K_t$ : constante de temperatura.

	<b>Temperatura ambiente</b>	<b>Temperatura de la célula</b>	<b>Rendimiento temperatura</b>
	°C	°C	%
<i>Ene</i>	25.9	59.7	98
<i>Feb</i>	25.1	58.9	98
<i>Mar</i>	25.1	58.9	98
<i>Abr</i>	25.7	59.5	98
<i>May</i>	26.1	59.9	98
<i>Jun</i>	26.8	60.6	98
<i>Jul</i>	27.0	60.8	98
<i>Ago</i>	27.4	61.2	98
<i>Sep</i>	27.6	61.4	98
<i>Oct</i>	27.4	61.2	98
<i>Nov</i>	26.4	60.2	98
<i>Dic</i>	25.2	59.0	98

*Tabla 6. Rendimiento del panel según la temperatura ambiente de la zona.*

Con la aplicación de la fórmula antes mencionada, obtenemos el rendimiento del módulo por temperatura, según la temperatura ambiente del lugar y la temperatura de la célula según las especificaciones del fabricante.

Para el cálculo del rendimiento (Performance Ratio) se han utilizado los siguientes parámetros:

<b>Performan Ratio</b>	
<i>Coeficiente perdida en batería</i>	5%
<i>Coeficiente autodescarga batería</i>	0.50%
<i>Profundidad de descarga batería</i>	60%
<i>Coeficient de perdida conversión DC/AC</i>	5%
<i>Coeficiente perdida cableado</i>	5%
<i>Autonomía del sistema</i>	5días
<i>Rendimiento general</i>	81.46%

*Tabla 7. Productividad del sistema.*

### **6.3. Cálculo de paneles fotovoltaicos.**

Para calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos a instalar basado en la demanda, se debe tomar en cuenta el mes con irradiancia mínima, ya que se debe cumplir como mínimo la demanda eléctrica de ese mes. En este caso en particular, el mes con menor irradiancia es octubre con 4572 (wh/m<sup>2</sup>). Para realizar este cálculo utilizaremos la siguiente fórmula,

$$Potencia\ minima = \frac{Demanda}{hora\ eq.*\ rendimiento}$$

$$Potencia\ minima = \frac{117kWh}{4.572 * 0.9} = 30kW$$

Calculamos el mes más desfavorable según el consumo que se tiene en ese mes y la radiación del mismo.

Mes	H(15°) kWh/	Consumo mes (Ah)	Mes desfavorable (Cmd)
Enero	155.33	64019.10	412.15
Febrero	166.41	62717.01	376.88
Marzo	213.91	56423.61	263.77
Abril	168.26	52083.33	309.54
Mayo	168.87	55338.54	327.70
Junio	160.17	78776.04	491.83
Julio	175.34	72048.61	410.91
Agosto	166.16	73784.72	444.06
Septiembre	168.33	74652.78	443.49
Octubre	141.75	75086.81	529.71
Noviembre	156.4	70312.50	449.57
Diciembre	153.23	67274.31	439.04

Tabla 8. Cálculo del mes más desfavorable según la irradiancia.

Como se puede ver en la tabla anterior, el coeficiente más desfavorable se presenta en el mes de octubre ya que el índice de radiación es el más bajo y el consumo es elevado. Con este dato calcularemos el número de placas y las que van en serie y en paralelo.

Cálculo de placas en serie

Para el cálculo de placas en serie utilizaremos la siguiente fórmula, sabiendo que la tensión nominal de las placas es de 24V y la de la instalación de 48V.

$$no. p = \frac{V_{instalación}}{V_{nominal\ placa}} = \frac{48v}{24v} = 2 \text{ placas en serie.}$$

Para el cálculo de placas en paralelo utilizaremos la siguiente fórmula,

$$no. p = \frac{Cmd * sobredimensionamiento}{Ipico\ placa} = \frac{529.71 * 1.2}{8.74} = 72 \text{ placas en paralelo.}$$

Para este cálculo tomamos el coeficiente más desfavorable, el cual calculamos anteriormente, además se sobredimensiona ya que las placas se verán afectadas por el paso del tiempo y se toma en cuenta la intensidad nominal de la placa.

El número de placas total de la instalación es 2 placas en serie x 72 en paralelo, con un total de 144 placas fotovoltaicas.

#### 6.4. Acumuladores

La capacidad de las baterías viene expresada en los AmperiosHora que pueden almacenar. Las baterías son elementos imprescindibles en una instalación fotovoltaica aislada porque la producción de energía no se da de forma continua durante las 24h del día. Estos dispositivos son utilizados para almacenar energía. Para elegir la batería correcta se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas de estas. Se dimensiona teniendo en cuenta el consumo diario, los días que necesita de autonomía, la profundidad de descarga y la tensión del trabajo. Para calcular la capacidad de la batería usaremos la siguiente fórmula,

- \* Tensión nominal de baterías: 48 V
- \* Profundidad de descarga de baterías: 60 %
- \* Autonomía del sistema: 5 días
- \* Energía Real Diaria: 143668 Wh/día

$$capacidad\ batería = \frac{\frac{consumo}{día} * días\ de\ autonomia}{profundidad\ de\ descarga * tensión}$$

$$capacidad\ batería = \frac{\frac{143,668wh}{día} * 5días}{0.6 * 48} = 24,942.36Ah$$

Utilizando baterías de Batería Estacionaria BAE 48V de 1000Ah, tenemos que,

$$\text{cantidad de batería} = \frac{24942.36Ah}{1000Ah} = 24.9 \text{ baterías.}$$

## 6.5. Regulador de carga.

Las instalaciones fotovoltaicas autónomas o aisladas requieren un sistema de batería o acumulador para almacenar el exceso de energía que se genera cuando tenemos sol y utilizarlo más tarde cuando los paneles no pueden generar la energía necesaria para la instalación. El control del procedimiento de carga y descarga de la batería se lleva a cabo mediante un aparato llamado "regulador de carga". Comparado con el coste total de instalación, si bien el dispositivo es sencillo y de bajo coste, es imprescindible para defender la vida útil de la batería y optimizar el desempeño del sistema fotovoltaico.

A la hora de seleccionar un regulador hay que tener en cuenta el valor de tensión del sistema y los parámetros del módulo fotovoltaico, lo que nos aporta un cierto grado de optimización. Ver a continuación:

- \* *Tensión sistema: 48 V*
- \* *Tensión módulos Circuito abierto: 46.9 V*
- \* *Tensión módulos máxima potencia: 37.8 V*
- \* *Corriente de cortocircuito modulo: 9.14 A*
- \* *Corriente a potencia máxima modulo: 8.74 A*
- \* *Nº de módulos serie instalar: 2*
- \* *Nº de módulos paralelo instalar: 72*
- \* *Total módulos instalar: 144*
- \* *Intensidad modulo a tensión sistema (abierto): 9.14 A*
- \* *Intensidad modulo a tensión sistema (cerrado): 8.74 A*
- \* *Intensidad total sistema (abierto): 658 A*
- \* *Numero de reguladores : 14*

El regular seleccionado ha sido el siguiente,



Ilustración 16. Regulador de carga MORNINGSTAR TRISTAR 45A PWM.

<i>Ficha técnica regulador</i>	
<i>Tensión</i>	12-24-48v
<i>Capacidad de carga</i>	45A
<i>Voltaje máximo</i>	125V
<i>Consumo propio</i>	20mA
<i>Ratio aprovechamiento</i>	0.71
<i>Grado de optimización</i>	96%

*Tabla 9. Ficha técnica del regulador.*

## **6.6. Inversor**

Con el fin de la escoger el inversor, tomaremos en consideración que debemos satisfacer la demanda de 47.5kw, ya que tenemos 144 paneles de 330w. Para cubrir esta demanda utilizaremos 5 inversores SUN2000-10KTL-M0, con los cuales tendremos 4 ramales de 29 paneles en serie y 1 ramal de 28 paneles.



SUN2000-10KTL-M0

*Ilustración 17. Inversor seleccionado Fuente: Huawei..*

## **6.7. Emplazamiento**

Los paneles solares se instalarán en el techo de una de las naves de la granja, los techos tienen una inclinación de 15°, esta ubicación no afecta en el funcionamiento normal de la granja, ya que los paneles no producen ruidos ni contaminación que pueda afectar la crianza de los cerdos.

## **6.8. Producción**

Partiendo de la referencia de la instalación y la información ambiental (irradiación, irradiancia

y temperatura) insertados en las hojas anteriores, se pasará ahora a estimar la energía generada por el sistema fotovoltaico. Luego también se calcula la energía acumulada al transcurso de 25 años.

Mes	Días/mes	Irradiancia (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	Energía (kWh/dia)	Energía (kWh/mes)
Ene	31	5.36	168.48	5,222.88
Feb	28	4.56	188.64	5,281.92
Mar	31	6.14	204.45	6,337.95
Abr	30	5.58	207.43	6,222.90
May	31	5.36	198.03	6,138.93
Jun	30	5.13	199.36	5,980.80
Jul	31	5.64	198.70	6,159.70
Ago	31	5.49	197.03	6,107.93
Sep	30	5.34	182.93	5,487.90
Oct	31	5.36	181.58	5,628.98
Nov	30	4.74	172.53	5,175.90
Dic	31	5.08	164.80	5,108.80
Media anual:		5.32	188.66	5,737.88
<b>Total anual:</b>			<b>kWh/año</b>	<b>68,854.59</b>

Tabla 10. Producción diario, mensual y anual.

La producción mensual satisface satisfactoriamente las necesidades de la instalación con una autonomía de 5 días.

La energía anual producida será de 68,854.59 kWh.



Ilustración 18. Comparativa de la producción de energía generada por la instalación y el consumo.

Energía generada		
Año	kWh/año	kWh (acumulado a la fecha)
0	68854.59	68854.59
1	68303.75	137158.34
2	67757.32	204915.67
3	67215.26	272130.93
4	66677.54	338808.47
5	66144.12	404952.60
6	65614.97	470567.57
7	65090.05	535657.61
8	64569.33	600226.94
9	64052.77	664279.72
10	63540.35	727820.07
11	63032.03	790852.10
12	62527.77	853379.87
13	62027.55	915407.42
14	61531.33	976938.75
15	61039.08	1037977.83
16	60550.77	1098528.60
17	60066.36	1158594.96
18	59585.83	1218180.79
19	59109.14	1277289.94
20	58636.27	1335926.21
21	58167.18	1394093.39
22	57701.84	1451795.23
23	57240.23	1509035.46
24	56782.31	1565817.77
25	56328.05	1622145.81

*Tabla 11. Energía generada a lo largo de 25 años de funcionamiento.*

Se tiene en cuenta la degradación anual de la eficiencia de los módulos.

## **7. Impacto Ambiental**

La industria energética es uno de los principales emisores de dióxido de carbono en República Dominicana y en el mundo, debido al crecimiento poblacional, las emisiones de dióxido de carbono continúan aumentando, ya que cada día se crean más necesidades y servicios que necesitan de la producción energética para poder funcionar. En el país, el sector energético se caracteriza por representar el 61.90% de las emisiones, donde el transporte tiene un gran peso por la quema de gas licuado de petróleo (GLP), gasolinas y otros tipos de

combustibles. Según el “Primer Informe Bienal de Actualización de la República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, 2020, la principal causa de las emisiones es el aumento sostenido de consumo energético del país. El incremento de las emisiones de CO2 está asociado al aumento de la quema de combustibles con fines energéticos. De acuerdo con este informe, realizado en febrero del 2020, las emisiones del sector energía aumentaron 26.95% entre el 2010 y el 2018, debido principalmente al aumento sostenido de consumo energético del país. <sup>[6]</sup>.

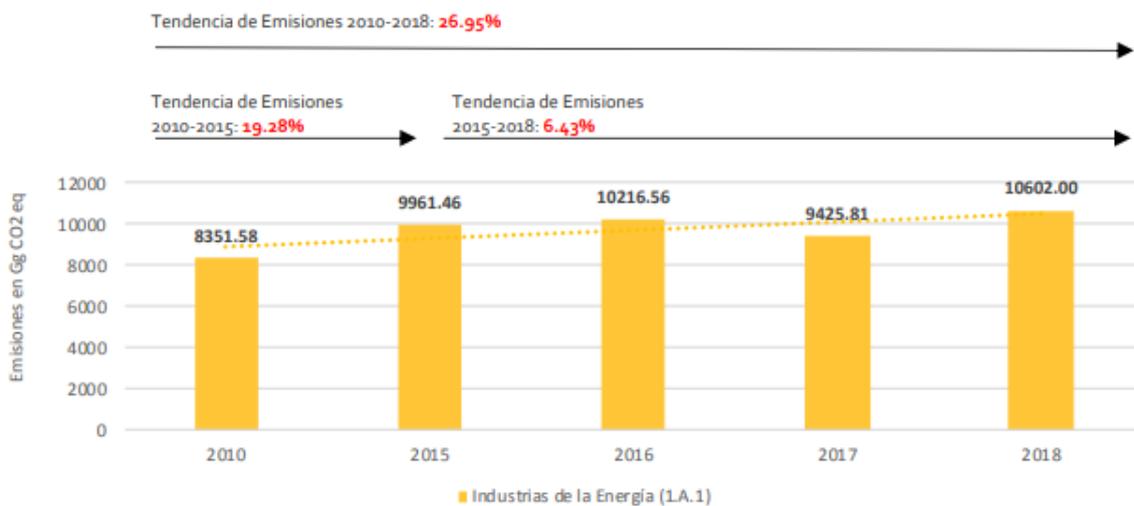


Tabla 12. Comportamiento de los gases de efecto invernadero en la industria de la energía, 2010-2018. Fuente: Ministerio de medio ambiente. <sup>[6]</sup>.

En el proceso de abordar el cambio climático, Los hechos han demostrado que la fijación de precios del carbono se ha vuelto más eficaz en los últimos años. Este concepto surge de la necesidad de considerar los daños al medio ambiente, la sociedad y la economía provocados por los gases contaminantes, que los economistas denominan "externalidades negativas hipotéticas"<sup>[7]</sup>. El precio del carbono para el año 2020 según sendeco2, es de una media anual de 24.22 euros, en 2008 fue de 22.02 euros y en 2018 de 15.88 euros <sup>[8]</sup>.

	Energía generada				Ahorro económico
Año	kWh/año	Kg CO2eq	g SOx	g NOx	por emisiones CO2eq
0	68854.59	41312.75	25200.78	17971.05	EUR 1,024.56
1	68303.75	40982.25	24999.17	17827.28	EUR 1,016.36
2	67757.32	40654.39	24799.18	17684.66	EUR 1,008.23
3	67215.26	40329.16	24600.79	17543.18	EUR 1,000.16
4	66677.54	40006.53	24403.98	17402.84	EUR 992.16
5	66144.12	39686.47	24208.75	17263.62	EUR 984.22
6	65614.97	39368.98	24015.08	17125.51	EUR 976.35
7	65090.05	39054.03	23822.96	16988.50	EUR 968.54
8	64569.33	38741.60	23632.37	16852.59	EUR 960.79
9	64052.77	38431.66	23443.32	16717.77	EUR 953.11
10	63540.35	38124.21	23255.77	16584.03	EUR 945.48
11	63032.03	37819.22	23069.72	16451.36	EUR 937.92
12	62527.77	37516.66	22885.16	16319.75	EUR 930.41
13	62027.55	37216.53	22702.08	16189.19	EUR 922.97
14	61531.33	36918.80	22520.47	16059.68	EUR 915.59
15	61039.08	36623.45	22340.30	15931.20	EUR 908.26
16	60550.77	36330.46	22161.58	15803.75	EUR 901.00
17	60066.36	36039.82	21984.29	15677.32	EUR 893.79
18	59585.83	35751.50	21808.41	15551.90	EUR 886.64
19	59109.14	35465.49	21633.95	15427.49	EUR 879.54
20	58636.27	35181.76	21460.88	15304.07	EUR 872.51
21	58167.18	34900.31	21289.19	15181.63	EUR 865.53
22	57701.84	34621.11	21118.87	15060.18	EUR 858.60
23	57240.23	34344.14	20949.92	14939.70	EUR 851.73
24	56782.31	34069.38	20782.32	14820.18	EUR 844.92
25	56328.05	33796.83	20616.07	14701.62	EUR 838.16
<b>Total</b>	<b>1,622,145.81</b>	<b>973,287.49</b>	<b>593,705.37</b>	<b>423,380.06</b>	<b>EUR 24,137.53</b>

Tabla 13. Emisiones De Gases de efecto invernadero evitados por Kwh de electricidad generada.

Con la implementación de la instalación, en el 1er año, se consigue evadir la producción de 41.312,75 kg de dióxido de carbono y ahorrar 1.024,56 euros, y en 25 años, podemos reducir un total de 973.287,49 kg de dióxido de carbono y ahorrar 24.137,53 euros.

## 8. Cálculo económico

En este capítulo se hará un análisis de rentabilidad económica de la instalación fotovoltaica aislada, analizando los costes involucrados y algunos parámetros importantes.

### 8.1. Inversión inicial.

A continuación, se desglosan los elementos considerados para la inversión inicial de la instalación fotovoltaica, algunos elementos fueron estimados con respecto a las necesidades de los elementos principales.

Equipo	Precio	Cantidad	Estimado %	Total
Placa Solar 330Wp Jinko Eagle	175	144		EUR 25,200.00
Inversor SUN2000-10KTL-M0	1900	5		EUR 9,500.00
Regulador MORNINGSTAR TRISTAR	144.97	14		EUR 2,029.58
Baterías	5000	24		EUR 120,000.00
Cableado			2%	EUR 3,134.50
Montaje			2%	EUR 3,134.50
Estructura			3%	EUR 4,701.80
Obra civil			4%	EUR 6,269.10
Otros costes			5%	EUR 7,836.40
		<b>Inversión total</b>		<b>EUR 181,805.88</b>

Tabla 14.. Cálculo de los costos y gastos iniciales.

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN		
TOTAL	181,806 €	
Inversión propia	30.00%	54,541.76 €
Préstamo	70.00%	127,264.12 €

Tabla 15. Presupuesto de la inversión.

## 8.2. Financiación.

Según la ley 57-07 sobre incentivo al desarrollo de fuentes renovables de energía y sus regímenes especiales, se reduce a 5% el impuesto por concepto de pago de intereses por financiamiento externo establecido en el Artículo 306 del Código Tributario, modificado por la Ley de Reforma Tributaria No.557-05, del 13 de diciembre del 2005, para aquellos proyectos desarrollados bajo el amparo de la presente ley<sup>[9]</sup>. Se financiará el 70% de la inversión inicial, correspondiente a un préstamo de 124,264.12 euros, emitido a una tasa de interés del 5% en un plazo de diez años.

Años	Cuota	Intereses	Amortización	Amortizado	Pendiente
0					127264.12
1	16481.29	6363.21	10118.08	10118.08	117146.04
2	16481.29	5857.30	10623.98	20742.06	106522.06
3	16481.29	5326.10	11155.18	31897.25	95366.87
4	16481.29	4768.34	11712.94	43610.19	83653.93
5	16481.29	4182.70	12298.59	55908.78	71355.34
6	16481.29	3567.77	12913.52	68822.30	58441.82
7	16481.29	2922.09	13559.19	82381.49	44882.63
8	16481.29	2244.13	14237.15	96618.65	30645.47
9	16481.29	1532.27	14949.01	111567.66	15696.46
10	16481.29	784.82	15696.46	127264.12	0.00

Tabla 16. Cuadro de amortización de préstamos.

### 8.3. Costes de explotación

Los costes de explotación o gastos de explotación son los costes de actividades que no están conectadas directamente con la actividad primaria del negocio. Son el gasto de llevar a cabo actividades del día a día que no tienen que ver con la producción o las ventas. Para este proyecto, los costos de operación y mantenimiento se estiman en un 5% de la inversión inicial y serán afectados por el Índice de Precios al Consumidor (IPC) cada año. Utilizamos el IPC real de República Dominicana en agosto de 2019 (1,7%)<sup>10]</sup>.

Coste de producción. Se dividen en costos operativos y costos de mantenimiento. Ambos se calculan a través del costo del primer año, y el costo del segundo año se multiplicará por el factor IPC (índice de precios al consumidor), que es 2699%. Este IPC es un IPC que debe usarse de acuerdo con la Ley 57-07 <sup>[9]</sup>.

Costes financieros. Representan los intereses que se tienen que pagar anualmente con respecto a la cantidad de dinero prestada.

Costes de depreciación. Para este tipo de instalaciones corresponde al 5,0% anual <sup>[11]</sup>.

Año	Costes de funcionamiento	Costes financieros	Costes de depreciación
1	1818.06	6363.21	9090.3
2	1867.13	5857.30	9090.3
3	1917.52	5326.10	9090.3
4	1969.28	4768.34	9090.3
5	2022.43	4182.70	9090.3

6	2077.01	3567.77	9090.3
7	2133.07	2922.09	9090.3
8	2190.64	2244.13	9090.3
9	2249.77	1532.27	9090.3
10	2310.49	784.82	9090.3
11	2372.85		
12	2436.89		
13	2502.67		
14	2570.21		
15	2639.58		
16	2710.82		
17	2783.99		
18	2859.13		
19	2936.30		
20	3015.55		
21	3096.94		
22	3180.52		
23	3266.37		
24	3354.53		
25	3445.06		

#### 8.4. Ingresos (Ahorros)

Para el caso de nuestra instalación fotovoltaica aislada, ya que no se vende energía a la red, los ingresos se verán reflejados en el ahorro del pago de la factura de la luz, la cual no se tendrá que pagar ya que toda la energía consumida vendrá de los paneles solares.

Según la Ley 57-07<sup>[9]</sup>, el costo de la energía para este tipo de instalación industrial es de 0,56 €/kWh.

#### 8.5. Cash Flow

El flujo de caja del proyecto se definirá como la diferencia entre los fondos generados cada año y los gastos incurridos durante toda la vida del proyecto.

$$\text{CashFlow} = \text{beneficio neto} + \text{amortización} - \text{pago a principal}.$$

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de cash-flow del proyecto en 25 años.

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	181806.00										
Inversión propia	54541.76										
Prestamo	127264.12										
Ahorro		38611.44	39335.40	40072.94	40824.31	41589.77	42369.57	43164.00	43973.33	44797.83	45637.79
Costes											
Costes de funcionamiento		1818.06	1867.13	1917.52	1969.28	2022.43	2077.01	2133.07	2190.64	2249.77	2310.49
Coste de financiamiento		6363.21	5857.30	5326.10	4768.34	4182.70	3567.77	2922.09	2244.13	1532.27	784.82
Costes de depreciación		9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30
Beneficio bruto		21339.87	22520.67	23739.02	24996.39	26294.34	27634.49	29018.54	30448.25	31925.49	33452.18
Beneficio neto		11221.79	11896.69	12583.83	13283.45	13995.75	14720.98	15459.35	16211.10	16976.47	17755.71
Pago a principal		10118.08	10623.98	11155.18	11712.94	12298.59	12913.52	13559.19	14237.15	14949.01	15696.46
Cash flow	-181806.00	11221.79	11896.69	12583.83	13283.45	13995.75	14720.98	15459.35	16211.10	16976.47	17755.71

Tabla 17. Flujo de caja año 0 al 10.

Años	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Inversión										
Inversión propia										
Prestamo										
Ahorro	46493.50	47365.25	48253.35	49158.10	50079.81	51018.81	51975.41	52949.95	53942.76	54954.19
Costes										
Costes de funcionamiento	2372.85	2436.89	2502.67	2570.21	2639.58	2710.82	2783.99	2859.13	2936.30	3015.55
Coste de financiamiento										
Costes de depreciación	9090.30	9090.30	9090.30	9090.30	-0.08					
Beneficio bruto	35030.35	35838.06	36660.38	37497.59	47440.31	48307.99	49191.42	50090.82	51006.47	51938.64
Beneficio neto										
Pago a principal										
Cash flow	35030.35	35838.06	36660.38	37497.59	47440.31	48307.99	49191.42	50090.82	51006.47	51938.64

Tabla 18. Flujo de caja año 11 al 20.

Años	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00
Inversión					
Inversión propia					
Prestamo					
Ahorro	55984.58	57034.29	58103.69	59193.13	60303.00
Costes					
Costes de funcionamiento	3096.94	3180.52	3266.37	3354.53	3445.06
Coste de financiamiento					
Costes de depreciación					
Beneficio bruto	52887.64	53853.77	54837.32	55838.60	56857.94
Beneficio neto					
Pago a principal					
Cash flow	52887.64	53853.77	54837.32	55838.60	56857.94

Tabla 19. Flujo de caja año 21 al 25

## 8.6. Rentabilidad.

La rentabilidad de un proyecto se mide con dos parámetros, el TIR y el VAN. Cuando el TIR es positivo significa que el esquema es favorable; a medida que sea más alto, más rentable es el proyecto. Se tiene una tasa de actualización de un 5,50% <sup>[12]</sup>.

CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE RENTABILIDAD	
Tasa de actualización	5.50%
<b>VAN=</b>	<b>195,737.67</b>
<b>TIR=</b>	<b>11.63%</b>

*Tabla 20. Parámetros de rentabilidad.*

Después de realizar el procedimiento antes mencionado tomando en cuenta que la tasa de actualización es de 5.50%, tenemos como resultado un VAN de 195,737.67€ y TIR de 11.63%.

## 9. Conclusiones

En el crecimiento económico mundial, la demanda de energía está aumentando. El sector eléctrico representa casi dos tercios de las emisiones totales de dióxido de carbono y la quema de combustibles fósiles sigue siendo la principal fuente de generación de energía en muchos países del mundo (como América Latina y el Caribe). El cambio climático es un problema mundial e ir incrementando tecnologías que mitiguen su crecimiento debe ser prioridad para todos los países del mundo.

La construcción de una instalación fotovoltaica aislada para el abastecimiento de una granja de explotaciones porcinas, además de las ventajas de este tipo de instalación ya antes mencionada, hay que destacar que la implementación de este tipo de tecnología es equivalente a la empatía con el medio ambiente, por ser parte de las energías sostenibles, limpias y amigables con el entorno.

Por otro lado, el acceso a la energía en las zonas rurales donde se desarrollan las actividades agrícolas y ganaderas es uno de los principales problemas de los países en desarrollo. En República Dominicana, todavía hay muchas áreas con electricidad inestable e incluso sin electricidad.

Las energías renovables se han convertido en la opción idónea para combatir esta problemática. La República Dominicana se destaca por su actividad agrícola y ganadera y es de gran interés el desarrollo efectivo de las deficiencias que se posee en este ámbito, para

poder mejorar y seguir creciendo como productores agrícolas y ganaderos.

Con la realización de este análisis de viabilidad, tomando en cuenta los resultados obtenidos según nuestros objetivos, podemos concluir que la implementación de energías renovables, en este caso con el aprovechamiento de un recurso grandioso como es el sol, con la instalación fotovoltaica, es una buena opción para dar respuesta al problema de falta de acceso a la energía, además de que, realizando una inversión, en unos años disfrutaremos de energía gratis con un largo tiempo. Con este estudio se da respuesta a mas de 10 asociaciones de productores porcinos, los cuales están incluidos en el programa de gobierno para el desarrollo agropecuario del país.

## 10. Referencias.

- [1] "La Solución Energética para las Granjas Porcinas", 2019, <https://endef.com/la-solucion-energetica-para-las-granjas-porcinas/>.
- [2] "Energía solar para 900 cerdos", 2014, <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/energia-solar-para-900-cerdos--20140422>.
- [3] "Fotovoltaica aislada en granja porcina (Lleida)", 2016, <https://www.genpower.es/trabajos/fotovoltaica-aislada>
- [4] "Cerdos y la nutrición humana", 2014, [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/HH\\_nutrition.html#:~:text=Los%20beneficios%20que%20aporta%20a,que%20no%20los%20pueden%20sintetizar](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/HH_nutrition.html#:~:text=Los%20beneficios%20que%20aporta%20a,que%20no%20los%20pueden%20sintetizar).
- [5] "Energía solar", Irena, <https://www.irena.org/solar>.
- [6] "Primer Informe Bienal de Actualización de la República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", 2020, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Dominican%20Republic-%20BUR1.pdf>.
- [7] "El precio del carbono, Sostenibilidad para todos." <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/precio-del-carbono/>.
- [8] "Precios CO2 - Sendeco2." [Online], <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>. [Accessed: 26-Sep-2019].
- [9] "Ley número 57-07 Sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales.", 2019, <https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2015/05/REGLAMENTO-LEY-57-07.pdf>
- [10] "IPC de República Dominicana 2019", <https://www.bancentral.gov.do/a/d/2534-precios>
- [11] Código Tributario, (Ley No.11-92), <https://dgii.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/Codigo%20Tributario%20y%20Leyes%20que%20lo%20modifican%20y%20complementan/11-92.pdf>
- [12] <https://www.bancentral.gov.do/>
- [13] "Obras realizadas", Grupo Arroyo, <https://www.grupoarroyodo.com/obras-realizadas-construccion>

[14] "Instalaciones Fotovoltaicas", <https://www.areatecnologia.com/electricidad/instalacion-fotovoltaica.html>

[15] "Fotovoltaica aislada", <https://www.areatecnologia.com/electricidad/instalacion-fotovoltaica.html><https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html#:~:text=Una%20instalaci%C3%B3n%20solar%20fotovoltaica%20aislada,de%20la%20luz%20del%20sol.>

[16] "Fotovoltaica aislada", Soliclima, <https://www.soliclima.es/fotovoltaica-aislada>.

[17] Consejo Nacional para el Cambio Climático, Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático."

## **11. Bibliografía.**

-Apuntes del Curso de Proyectos de Ingeniería en Energías Renovables del Máster en Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Cartagena, curso2019/2020.

-Apuntes del Curso de Ingeniería De Los Sistemas Fotovoltaicos del Máster en Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Cartagena, curso2019/2020.

-<https://es.ultra-pv.com/Inverter/On-Grid-Inverter/SUN2000-10KTL-M0-Huawei-Smart-PV-String-Inverter.html>

-[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR)

-[https://sie.gov.do/images/sie-documentos-pdf/MEMORIA\\_INSTITUCIONAL\\_2019.pdf](https://sie.gov.do/images/sie-documentos-pdf/MEMORIA_INSTITUCIONAL_2019.pdf)

-Especificaciones Panel Solar, Jinko 330wp, <https://autosolar.es/pdf/Ficha-Tecnica-Jinko-Solar-305-330W.pdf>

-Conocimientos adquiridos al trabajar en el diseño y construcción de granjas de cerdos en la República Dominicana.