



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD MONTEÁVILA
COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ESPECIALIZACIÓN EN PLANIFICACIÓN,
DESARROLLO Y GESTIÓN DE PROYECTOS

DESARROLLO DE UN ESTÁNDAR PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA
DESDE UN PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO, EN PROCESOS DE
CONSTRUCCIÓN DE GRANJAS SOLARES

**Trabajo Especial de Grado, para optar al Título de Especialista en
Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos, presentado por:**
Noguera Guevara, Ibrahim Enrique, CI: 19.532.178

Asesorado por:
Prince Machado, Marcella
Pereira, David

Caracas, febrero de 2019

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD MONTEÁVILA
COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESPECIALIZACIÓN EN PLANIFICACIÓN, DESARROLLO Y GESTIÓN DE
PROYECTOS

DESARROLLO DE UN ESTÁNDAR PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA
DESDE UN PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO, EN PROCESOS DE
CONSTRUCCIÓN DE GRANJAS SOLARES

**Trabajo Especial de Grado, para optar al Título de Especialista en
Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos, presentado por:**
Noguera Guevara, Ibrahim Enrique, CI: 19.532.178

Asesorado por:
Prince Machado, Marcella
Pereira, David

Caracas, febrero de 2019

**Comité de Estudios de Postgrado
Especialización en Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos**

Quienes suscriben, profesores evaluadores nombrados por la Coordinación de la Especialización en Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos de la Universidad Monteávila, para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**Desarrollo de un estándar para el cálculo de la eficiencia desde un punto de vista ecológico, en procesos de construcción de granjas solares**", presentado por el ciudadano: **NOGUERA GUEVARA, IBRAHIM ENRIQUE**, cédula de identidad N° **19.532.178**, para optar al título de Especialista en Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos, dejan constancia de lo siguiente:

1. Su presentación se realizó, previa convocatoria, en los lapsos establecidos por el Comité de Estudios de Postgrado, el día **21 de marzo de 2019**, en el aula 3, en la sede de la Universidad.
2. La presentación consistió en un resumen oral del Trabajo Especial de Grado por parte de sus autores, en los lapsos señalados al efecto por el Comité de Estudios de Postgrado; seguido de una discusión de su contenido, a partir de las preguntas y observaciones formuladas por los profesores evaluadores, una vez finalizada la exposición.
3. Concluida la presentación del citado trabajo los profesores decidieron otorgar la calificación de Aprobado "A" por considerar que reúne todos los requisitos formales y de fondo exigidos para un Trabajo Especial de Grado, sin que ello signifique solidaridad con las ideas y conclusiones expuestas.

En Caracas, el día **21 de marzo de 2019**.



Prof. Marcella S. Princé Machado

C.I. 5.003.329




Prof. Mariela Del Valle Martellacci Trujillo

C.I. 11.312.269



Prof. Meléndez Gómez Nelly Coromoto

C.I. 7.835.301

Señores:

Universidad Monteávila
Comité de Estudios de Postgrado
Especialización en Planificación, Desarrollo y Gestión de Proyectos

Atención: Profesora Mariela Martellacci

Referencia: Aceptación de Asesoría

Por medio de la presente le informo que hemos revisado el borrador final del Proyecto de Trabajo Especial de Grado de la Ciudadana: **NOGUERA GUEVARA, IBRAHIM ENRIQUE**, titular de la Cédula de Identidad N° **19.532.178**, cuyo título tentativo es: "**Desarrollo de un estándar para el cálculo de la eficiencia desde un punto de vista ecológico, en procesos de construcción de granjas solares**", el cual cumple con los requisitos vigentes de esta casa de estudio para asignarles jurado y su respectiva presentación.

A los 15 días del mes marzo del 2019



Prof. Marcella Prince

Asesora

C.I 13.716.421

**ESPECIALIZACIÓN EN PLANIFICACIÓN,
DESARROLLO Y GESTIÓN DE PROYECTOS**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DESARROLLO DE UN ESTÁNDAR PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA
DESDE UN PUNTO DE VISTA ECOLÓGICO, EN PROCESOS DE
CONSTRUCCIÓN DE GRANJAS SOLARES**

Autor: Noguera Guevara, Ibrahim Enrique

Asesores: Prince Machado, Marcella

Asesor Metodológico Pereira, David

Asesor académico

Año: 2019

El presente trabajo especial de grado tuvo como objetivo el desarrollo de un proceso para determinar un estándar que permita evaluar la eficacia en el proceso de planificación de la construcción de granjas solares, en el ámbito ecológico, específicamente en la instalación de plantas de colección de energía fotovoltaica. Esta tecnología está dirigida a funciones de generación de energía eléctrica sustentable y limpia para centros urbanos y rurales, y reducir la dependencia en la quema de hidrocarburos. Este estudio se concentró en análisis de localización y disponibilidad de recursos naturales de cinco proyectos de granjas solares, ubicados en California USA, en zonas ambientalmente homogéneas y bajo las mismas condiciones políticas y sociales, que, con el apoyo de la metodología del Benchmarking de acuerdo al PMBOK 2017, las fuentes bibliográficas y la minería de datos aplicada a redes sociales y GoogleScholar, se logró desarrollar un estándar para evaluar la eficacia de un proyecto de granja solar en la etapa de planificación.

Palabras clave: Energía solar, energía fotovoltaica, plantas solares, PMBOK, Benchmarking

Nomenclatura UNESCO: (53) Ciencias Económicas, (5311) Organización y Dirección de Empresas, (531106) Gestión Financiera

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo y aguante frente a los retos que se me presentaron en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado,

A mi novia, por estar siempre atenta y ser una voz de aliento cuando mis ánimos decaían,

A mis amigos, por expresar su orgullo frente a los pasos que decidí tomar con mi carrera,

Al profesor David Pereira, que tomó la responsabilidad de fungir como tutor de este Trabajo Especial de Grado, sin el tiempo de su lado,

A la profesora Sandra Leal y el profesor Edixon Chacón, por apoyarme en el desarrollo metodológico del proyecto cuando mis conocimientos en este ámbito eran escasos,

A la profesora Marcella Prince, que, con paciencia, dedicación y entrega, tomó un compromiso con todos los estudiantes de esta especialización para superar todos los retos que presentaron en el camino y hacer posible la defensa de las TEG,

Y a la Universidad Monteávila, la Universidad Simón Bolívar y la Academia Venezolana, por ofrecer este tipo de programas de estudio frente a múltiples condiciones adversas que la situación del país le ha puesto como obstáculo, pero se ha mantenido en pie, como un baluarte de conocimiento que llevará este país adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FÓRMULAS	xiv
LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
INTERROGANTES	9
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	9
ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
ANTECEDENTES	14
Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo	14
Procedimiento Multicriterio-Multiobjetivo de Planificación Energética a Comunidades Rurales Aisladas	15
Development of a Renewable Energy Power Supply Outlook 2015 for the Republic of South Africa	16
Solar Energy Assessment Based on Weather Station Data for Direct Site Monitoring in Indonesia	17
Les Systemes Energetiques A Usage Productif Par La Techonologie Photovoltaique	18
BASES TEÓRICAS.....	20
¿Qué es un Proyecto?	20
Gestión de los Interesados	20
Benchmarking	22
Análisis Terrestre en el Diseño y Construcción de Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red	22
Plantas de Energía Solar Fotovoltaicas para la alimentación de la Red	24

Radiación Solar	26
Tipos de radiación Solar	26
Radiación Solar en la Atmósfera Terrestre	26
Radiación Solar en la Superficie Terrestre	27
La Energía Solar Fotovoltaica en el Contexto de las Energías Renovables	27
Tipos de Paneles Solares	28
Efectos Atmosféricos	29
Efectos de las nubes y variaciones locales en la atmósfera	29
Ángulo de Elevación	30
Amanecer y ocaso	31
Radiación Solar Sobre una Superficie Inclinada	31
Sombreado	32
Radiación Global Inclinada	33
Las energías alternativas en Venezuela	33
Minería de datos	34
BASES LEGALES	35
Legalidad Nacional	35
Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	35
Ley Orgánica de Servicio Eléctrico	36
Ley Ejercicio De La Ingeniería, La Arquitectura Y Profesiones Afines	37
Ley de Derecho de Autor	37
Acuerdo Bilateral Venezuela-Vanuatu en cooperación energética	38
Acuerdo Multilateral Venezuela-Portugal-Francia-Rusia en energías renovables	38
Definiciones Legales	39
Precedentes Legales	39
Acuerdos Actuales	40
Regulaciones Actuales	41
CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL	42
SECTOR PRODUCTIVO	42
Estructura Organizacional de una empresa modelo de instalación/construcción de plantas solares	49
CONTEXTO VENEZOLANO	51

PRODUCTO O SERVICIO.....	53
AUDIENCIA O PÚBLICO CONSUMIDOR	54
El cliente final	54
Empresas privadas de generación	55
Gobierno central	55
Empresa inmobiliaria	55
Organizaciones Urbanistas y de Planificación	56
Economía regional	56
CONTEXTO ÉTICO	56
Importaciones de combustibles y emisiones evitadas	56
Objetivos de las energías renovables	57
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	59
TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	59
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	63
FASES DE LA INVESTIGACIÓN	65
TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN	66
PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	66
FORMULACIÓN EL CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO (EDT)	67
CAPÍTULO V. DESARROLLO.....	69
RECOLECCIÓN DE DATOS	69
Etapa de Concepto	70
Etapa de Pre-Factibilidad	70
Etapa de Factibilidad	71
Financiamiento, Permisos y Contratos	72
Recurso Solar	72
Potencial energético solar del área	73
Criterio de selección del área	73
Criterio de selección de los módulos PV	74
BENCHMARKING DE LA PRIORIDAD DE LAS VARIABLES	75
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	81
CAPÍTULO VII LECCIONES APRENDIDAS	96

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
ANEXOS	105
Comparación estética de granjas solares en mantenimiento.....	105
Los 10 Proyectos Solares más grandes del mundo	106
Tratados Internacionales	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Comparación de radiación solar entre USA, España y Alemania	24
Figura 2.2 Radiación sobre una superficie inclinada	32
Figura 2.3 Ejemplos de Sombreado sobre celdas solares	33
Figura 3.1, Arquitectura empresarial de una Granja Solar	49
Figura 3.2, Estructura Organizacional de una empresa modelo de instalación de plantas solares..	50
Figura 3.2 mapa de incidencia de radiación solar sobre la superficie del territorio venezolano	52
Figura 3.3 Techos de edificaciones en Houston con condiciones para generación distribuida Solar	54
Figura 4.1 EDT Parte 1	67
Figura 4.2 EDT Parte 2	68
Figura 1 Comparación estética de granjas Solares.....	105
Figura 2.4 Países Involucrados en el Tratado de Energía	107

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1.1 Comparación de emisiones contaminantes por fuente de energía	7
Gráfico 2.1 Efectos de Nubosidad sobre una Celda solar a 60° de Inclinación	30
Gráfica 3.1 Ahorro Económico y Emisiones de Gases contaminantes reducidas por aplicación de fuentes de generación renovables.....	57
Gráfica 6.1 Proceso de Planificación	90
Gráfica 6.2 Proceso de Planificación P2	91
Gráfica 6.3 Proceso de Planificación P3	92
Gráfica 6.4 Proceso de Planificación P4	93
Gráfica 6.5 Proceso de Planificación P5	94
Gráfico 6.6 Comparación de I_p entre proyectos.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Gestión de Los Interesados en un Proyecto PV	21
Tabla 2.2 Potencial Aprovechable de Energías Alternativas en Venezuela	34
Tabla 3.1 Área requerida para la instalación de una granja solar de 1MW de acuerdo a la tecnología y la localización.....	43
Tabla 3.2 Objetivos del PER para el 2011.....	58
Tabla 4.1 Operacionalización de las Condiciones Económicas	61
Tabla 4.2 Operacionalización de las Características Tecnológicas.....	62
Tabla 4.3 Operacionalización del Entorno Ambiental.....	63
Tabla 4.4 Fases de la Investigación	65
Tabla 5.1 Lista de Verificación de Concepto de Proyecto	70
Tabla 5.2 Lista de Verificación de Pre-Factibilidad.....	71
Tabla 5.3 Lista de Verificación de Factibilidad	71
Tabla 5.4 Lista de Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos.....	72
Tabla 5.5 Lista de Verificación de Niveles de Recurso Solar	72
Tabla 5.6 Lista de Verificación del Potencial Energético Solar del Área	73
Tabla 5.7 Lista de Verificación del Área Seleccionada	74
Tabla 5.8 Lista de Verificación de Selección de Módulos PV	74
Tabla 5.9 Resultados Benchmarking de las bibliografías (referentes)	77
Tabla 5.10 Resultados Benchmarking de las Redes Sociales.....	77
Tabla 5.11 Resultados Benchmarking de GoogleScholar	78
Tabla 5.12 Ponderación de Resultados	78
Tabla 5.13 Benchmarking de Elementos de Viabilidad de Proyectos Solares	79
Tabla 6.1 Comparación de la Lista de Verificación de Concepto de Proyecto.....	83
Tabla 6.2 Comparación de la Lista de Verificación de Pre-Factibilidad	84
Tabla 6.3 Comparación de la Lista de Verificación de Factibilidad	85
Tabla 6.4 Comparación de la Lista de Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos	86
Tabla 6.5 Comparación de la Lista de Verificación de Niveles de Recurso Solar	86
Tabla 6.6 Comparación de la Lista de Verificación del Potencial Energético Solar del Área	87
Tabla 6.7 Comparación de la Lista de Verificación del Área Seleccionada	88

Tabla 6.8 Comparación de la Lista de Verificación de Selección de Módulos PV	89
Tabla 1 Los 10 Proyectos Solares más grandes del mundo (Neill S., Stapleton G. y Martel C., 2017, [Resumen])	106

ÍNDICE DE FÓRMULAS

(5.01) Fórmula Índice de Viabilidad	79
(6.01) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P1	89
(6.02) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P2	91
(6.03) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P3	92
(6.04) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P4	93
(6.05) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P5	94

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

Asamblea General (AG)

Masa de Aire (AM)

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN)

Concentradores de radiación solar (CSP)

Valores Separados por Coma (CSV)

Dióxido de carbono (CO_2)

Ecuación de Tiempo (EoT)

General Electric (GE)

Radiación Global Inclinada o Global Tilted Irradiation (GTI)

Greenwich Mean Time (GMT)

Gigavatio hora (GWh)

Constante de Radiación ($H_{constant}$)

Ángulo de Hora (HRA)

Superficie solar (H_{sun})

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Kilovatio (kW)

Kilovatio producido por hora en cada metro cuadrado de terreno durante un año de estudio ($\text{kWh/m}^2/\text{Año}$)

Kilovatio instalado (kWp)

Costos normalizados de energía (levelized cost of energy, LCOE)

Hora Estándar Local (LST)

Hora Estándar Local Meridiana (LSTM)

Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL)

Organización para las Naciones Unidas (ONU)

Plan de Energías Renovables (PER)

Project Management Body of Knowledge (PMBOK)

Fotovoltaico (PV)

Radio de la tierra (R_{Tierra})

Radio del sol (R_{sun})

Agenda para Desarrollo y Metas Sustentables (SDGs)

Energía Sustentable Para Todos (SE4ALL)

Corrección de Tiempo (TC)

Trabajo Especial de Grado (TEG)

Estados Unidos (USA)

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la rama de generación de energía se ha diversificado hacia el desarrollo y mejora de fuentes que no dependan de combustibles fósiles, es decir, ingeniería verde, donde la generación fotovoltaica ha tomado un protagonismo importante al representar una de las alternativas de energía más limpias con las cuales se dispone hasta el momento. El problema, como menciona Lewis es que “las tecnologías de conversión de energía solar, se enfrentan con retos relacionados al alto costo y escalabilidad de las tecnologías requeridas para un sistema energético completo” (Lewis, 2007, p. 798), es decir, la generación fotovoltaica requiere de un espacio considerable para lograr una alimentación que cubra la demanda completa de cualquier tipo de estructura, y aunque con el avance de la tecnología los costos de instalación y mantenimiento se han estado reduciendo continuamente, la inversión sigue siendo un detrimento para un individuo con demanda residencial e incluso para comercios y empresas pequeñas. Al mismo tiempo, esta tecnología posee un rango de utilidad muy estrecho de acuerdo a las condiciones ambientales que lo rodeen, que puede ser afectado incluso por una variable tan básica como la latitud y longitud del lugar de instalación.

Aun así, la versatilidad de los paneles solares nos presenta una herramienta comprobada de generación de energía limpia con un futuro favorable que no solo ayudará al planeta, sino que también impulsará el avance científico de la humanidad ya que tal como se menciona en el portal web de ingeniería (engineering.com): “las fuentes de energía renovable son generalmente de fuentes ilimitadas” (Engineering.com, Why Solar Energy, 2011, párr. 1). De ahí nace el objetivo de este proyecto, el cual, busca desarrollar un estándar para calcular la eficacia en procesos de construcción de granjas solares, y así promover el desarrollo y aplicación de estas tecnologías y comparar su factibilidad en proyectos alrededor del mundo, pero sobre todo este trabajo busca lograr que esta tecnología sea más atractiva para los gobiernos y compañías privadas.

Para esto el desarrollo de este trabajo especial de grado está dividido en ocho capítulos, distribuidos en la siguiente manera:

Capítulo I, planteamiento de la investigación, donde se habla de la conveniencia de este planteamiento para diferentes sectores, tanto académicos como financieros, la relevancia social de la investigación en cuanto a los beneficios que aporta a la comunidad, las implicaciones prácticas de aplicar este tipo de tecnologías para el sector eléctrico, los aspectos de innovación que cubre esta investigación, la utilidad metodológica que cumple el objetivo de desarrollar un indicador de eficacia en la construcción de granjas eléctricas y las razones personales que impulsaron este tipo de estudio. Al mismo tiempo, en este capítulo tenemos las interrogantes que orbitan este tipo de investigaciones, el objetivo general que tiene este Trabajo Especial de Grado (TEG), los objetivos específicos que se buscan demostrar y cumplir, la justificación para haber elegido este tema en particular en torno a los planteamientos mencionados anteriormente y el alcance y delimitaciones de la investigación.

Capítulo II, Marco Teórico, incluye cinco tesis utilizadas como antecedentes desarrolladas por diferentes expertos en el área que muestran procesos de evaluación en uso para la planificación de granjas solares. También se presentan todos los conceptos y definiciones necesarias para la comprensión de este documento y la normativa legal que defiende y limita esta investigación.

Capítulo III, Marco Referencial, en este capítulo se indica a que sector productivo y consumidor se está direccionando el provecho de esta investigación, y su estudio como producto, es decir cómo se espera que este indicador se comercie dentro del ámbito del mercado energético mundial, y en que cuadro ético se envuelve su desarrollo. Para esto se presentan las condiciones que debe cumplir un lugar geográfico para ser considerado de óptima calidad para la instalación de una granja solar, siendo así la localización teórica de mayor eficacia, de ser planificado un proyecto de estos.

Capítulo IV, Marco Metodológico, este capítulo incluye todas las características y los detalles que definen la metodología para un estudio documental y proyecto factible, luego de analizar algunos trabajos empíricos realizados sobre el tema, los cuales mencionan en sus publicaciones, variables que van a permitir diseñar una serie de pasos para proponer un proceso de evaluación numérica, de la eficacia global en la gestión de planificación de proyectos de granjas solares, vistos siempre desde el entorno ambiental. Para ello se realiza el cuadro de operacionalización de variables y los métodos de recolección de datos con su posterior método de análisis, de manera que futuros estudios en este entorno académico puedan ser llevados a cabo y expandir esta investigación dentro del campo científico actual.

Capítulo V, Desarrollo, en esta sección del documento, se explica el proceso de recolección de datos, a través de una evaluación del entorno a estudiar con una lista de elementos de respuesta binaria (Si o No), que luego, a través de diferentes procesos, se clasifican a través de un análisis de Benchmarking, que permitirá desarrollar un índice que indique, de acuerdo a la concentración de opiniones de varios expertos, la eficacia de una granja solar en un lugar en específico, durante su gestión de planificación.

Capítulo VI, Análisis De Los Resultados, este capítulo contiene la prueba real del estudio aplicado a una serie de granjas solares en Estados Unidos (USA), en específico, el estado de California, como proyectos completos y activos, para verificar si el método propuesto en el capítulo V de este TEG, puede ser considerado como correcto, apoyado en los datos públicos sobre la concepción de cada uno de estos proyectos.

Capítulo VII, Lecciones Aprendidas, en el desarrollo de esta sección, se mencionará el aprendizaje del autor durante la investigación de este TEG, al mismo tiempo de comentarios sobre las condiciones y conceptos presentados en los antecedentes tomados como base para este documento.

Capítulo VIII, Conclusiones Y Recomendaciones, finalmente, en esta sección culminaremos con el cierre de la investigación mencionando cuales son las limitaciones y recomendaciones para futuros estudios en este tema, y el cierre de la investigación para optar por el título de la especialización en planificación, desarrollo y gestión de proyectos.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Generalizando, una granja solar es una planta de generación de energía eléctrica a partir de la transformación de la radiación solar a potencia, mediante paneles fotovoltaicos, ya sea transformando dicha radiación en energía, o por aumento de temperatura que se transforma en fuentes termoeléctricas. Tal como menciona David Frankel en un titular publicado por McKinsey & Company en el portal web mckinsey.com, en su sección de negocios:

“...las plantas solares PV no son tan complejas de construir como lo son otro tipo de plantas eléctricas, aun así, las compañías contratistas desarrollan estrategias alineadas con sus intereses propios, y de sus socios, durante el ciclo de vida de cada proyecto, lo que causa que no se estandarice el proceso durante su ejecución...” (McKinsey & Company, How Solar Energy Can Finally Create Value, 2019, Sección de Negocios, párr. 14)

Gracias a esto, algo que inicialmente no era complejo, se oscurece al no tener un método sobre el cual proceder. Cada proyecto se individualiza, y la localización de un proyecto de construcción afecta mucho la generación de energía. Para lograr una reducción de la complejidad asociada a la instalación y conceptualización de granjas solares dedicadas a la generación de energía eléctrica, mediante la estandarización de procesos de construcción y estudio, se necesita aprovechar al máximo las condiciones ambientales y la localización del proyecto planteado.

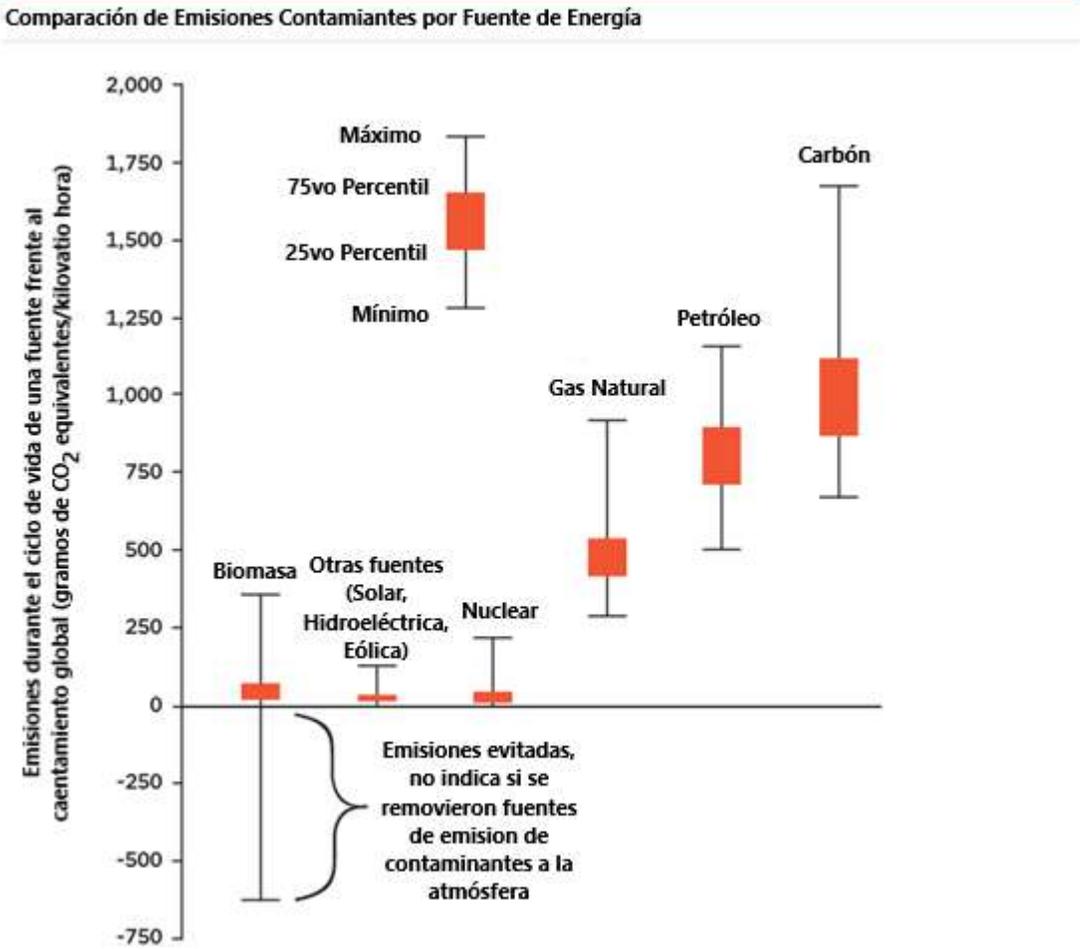
Un proyecto de granja solar inicia con un proceso de conceptualización, que de acuerdo al Project Management Body of Knowledge (PMBOK), es básicamente una extensión de la gestión de integración, donde se “incluyen los procesos y actividades necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la dirección de proyectos dentro de los grupos de procesos de dirección de proyectos” (Project Management Institute, 2017, PMBOK, p. 41). Para este caso, la coordinación del proyecto depende de las condiciones económicas y geográficas del sitio escogido, al mismo tiempo que identifica el peso del costo de oportunidad, tanto para la red eléctrica como para el

ciudadano común en su factura de electricidad. El reto es estudiar ese proceso de conceptualización, en cuanto a su eficacia frente a variaciones de sus condiciones medioambientales, para su comparación de manera comprensible y así lograr competir metodológicamente con la construcción de plantas termoquímicas y aprovechar al máximo el aporte de las fuentes alternativas a la red, y a su vez, justificar la sustitución progresiva de fuentes de generación no renovable, por energía limpia.

Para este trabajo de grado, se entiende como energía limpia o “energía verde” a la definición planteada por Jaime González, en el portal web Soty Solar (sotysolar.es): “...nos referimos a recursos infinitos de fuentes no contaminantes y respetuosos con el medio ambiente. En este grupo destacan energías como la solar, la eólica, la mareomotriz” (Soty Solar, ¿Que es la Energía Verde?, 2017, Sección de Energía Verde, párr. 4), es decir, a un sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación o la gestión mediante la que nos deshacemos de todos los residuos peligrosos hacia el ambiente, simplemente serán todas aquellas energías que no generan residuos contaminantes. Es importante diferenciar que la energía limpia no necesariamente es renovable, ya que, contextualmente hablando, la recuperación de energía no implica, forzosamente, la eliminación de los residuos. Esta definición es la que se utiliza en los aspectos técnicos de la investigación ya que legalmente hablando existen otras maneras de entender la energía verde para aspectos jurídicos, que se presenta en el Capítulo II de este documento, en la sección de Bases Legales.

Ecológicamente hablando, “cada kilovatio que se substituya hacia energía limpia, en un proyecto fotovoltaico, al compararse con un sistema termoeléctrico (gas, petróleo, carbón), tiene un impacto inmediatamente positivo en la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera” (Myhre, Shindell, Bréon, Collins, Fuglestvedt, Huang, Koch, Lamarque, Lee, Mendoza, Nakajima, Robock, Stephens, Takemura y Zhang, 2013, p. 676), estas emisiones se miden en gramos de dióxido de carbono (CO₂) liberados a la atmósfera por cada kilovatio hora producido, ya sea directamente consecuencia del proceso de generación, o por las actividades que

orbitan su funcionamiento normal. En la Gráfica 1.1 podemos ver una comparación del impacto ambiental en emisiones de CO₂ de diferentes fuentes de generación de energía eléctrica, con la energía solar, la eólica y la hidroeléctrica combinadas en un indicador por su baja contribución en comparación con las demás.



Gráfica 1.1 Comparación de emisiones contaminantes por fuente de energía
 Fuente: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (2011), por: Edenhofer et al. (párr. 1).

Como podemos ver en el cuadro anterior, y de acuerdo al Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en su página web www.ipcc.ch/report/srren, “las tecnologías de generación de energía desde fuentes no fósiles, como la eólica, solar y geotérmica, aportan menos del 1% del total de emisiones contribuyentes al

calentamiento global pertinentes a la generación de energía” (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2011, Sección Summary for Policymakers, párr. 4), debido a los altos costos de inversión, asociados a los PV. El impacto ambiental de las fuentes PV tiende a ser por la cantidad de terreno necesaria, afortunadamente, las celdas solares son diseñadas considerando un aspecto modular que puede ser adaptado a la disponibilidad de espacio, de hecho, esta característica ha sido utilizada para variar su disposición arquitectónica y crear una variedad de diseños que van desde la estética hasta la funcionabilidad cultural, colocando las celdas para que a cierta distancia muestren una forma amistosa, como la cabeza de un oso panda o la conocida figura de “Mickey Mouse”.

En el caso de Venezuela, históricamente ha sido uno de los países de América Latina con mayor incidencia en el uso de energías renovables, utilizando su amplio desarrollo hidroeléctrico para abastecer a casi el 70% de la demanda nacional; no obstante, tal como se mencionó en la versión on-line del Periodico el Emprendedor (<http://periodicoelemprendedor.com>), el Ingeniero Daniel Moll explica que: “[la hidroeléctrica] este no es el único tipo de energía limpia que existe, también es productivo el desarrollo y uso de energía solar, para lo cual se han hecho estudios para su uso en los calentadores” (Periódico el Emprendedor, Energía solar: una nueva oportunidad de negocios en Venezuela, 2017, Sección Dinero, párr. 1), que ayudarían a reducir entre un 60 y 70% el uso de energía eléctrica.

En este sentido, de acuerdo al reporte más reciente de la organización internacional REN21 (2017), la energía solar se está convirtiendo en una de las opciones ecológicas de generación de electricidad más importantes del mundo, conllevando inversiones superiores a los 260 millardos de dólares; lo cual redundaría en la reducción de los costos de la misma; esta disminución de los costos de generación de energía solar, cercanos al 23% en los últimos dos años, hace que comience a competir seriamente con la energía fósil, incluso en Venezuela, donde la exportación de petróleo ha caído, tanto en cantidades demandadas como en precio..

Regresando al tema central, ¿Cuál es el problema que se busca atacar en este TEG? Principalmente es la simplificación del proceso de planificación de granjas solares, el cual se encuentra muy disperso entre los intereses de las empresas, las variadas condiciones ecológicas y los aspectos tecnológicos, entonces, se plantea un proceso que entregue un indicador que ayude a entender, que tan certero es el proceso de conceptualización de una granja solar.

2. INTERROGANTES

¿Qué elementos o variables deben ser considerados para que la eficacia de los proyectos de granja solar pueda ser medida durante el proceso de planificación y construcción de una manera sencilla, aplicable y entendible desde el punto de vista ecológico?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Desarrollar un estándar para el cálculo de la eficacia desde el punto de vista ecológico, en procesos de construcción de granjas solares.

Objetivos Específicos

- Evaluar la factibilidad ecológica considerando las variables involucradas en su concepción y los requisitos de la compañía durante el proceso de planificación,
- Aplicar protocolos de minería de datos para la recolección de información generada por expertos en el área de construcción y mantenimiento de granjas solares con recursos limitados, en redes sociales y GoogleScholar.
- Generar un indicador, basado en el análisis de Benchmarking, facilitando la interpretación del grado de eficacia desde el punto de vista ecológico, en proyectos de construcción de granjas solares durante la fase de conceptualización.

4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La energía solar ha tenido varios periodos de uso en su evolución tecnológica desde sus principios hasta el día de hoy, esto es debido a los altos costos que

caracterizaban esta tecnología en sus inicios, por lo cual se trató de utilizar en casos extremos, como lugares donde la red eléctrica no logra llegar, o en el espacio, pero con el avance de la ciencia se fueron encontrando elementos y procedimientos que permitieron reducir el costo de aplicar la energía solar donde solo la termoeléctrica se encontraba, y su uso más popular fue la compensación de los puntos de mayor demanda de energía, denominados picos de demanda (picos de demanda).

Mientras fue avanzando la tecnología, su aplicación se expandió y se convirtió en una solución práctica y conveniente para generar energía de manera sustentable para demandas regulares. Por supuesto, dentro de esta clasificación también encontraríamos a la energía eólica, hidroeléctrica, geotérmica, nuclear o incluso la proveniente de la biomasa, que al mismo tiempo han estado mejorando a la par de la solar. Entonces debemos responder la pregunta de ¿por qué escoger la energía solar por sobre las otras? ¿Cuál es su conveniencia? Según Nikki Chua, en un reportaje publicado en el portal web de Sol Energy Systems Inc. (<http://solenergy.com.ph>), tenemos una realidad en la que:

“El Sol es una Fuente de energía natural que emite solo una pequeña reacción química con mínimos efectos en el medio ambiente, lo cual permite su clasificación como renovable y limpia. Al mismo tiempo tenemos su practicidad, la radiación solar cae sobre todo el globo terrestre, causando que el acceso a luz solar se prácticamente global, si quisiéramos instalar una fuente eólica necesitamos de vientos que cumplan con un mínimo de velocidad, para la hidroeléctrica se necesita un río de cauce considerable cercano, para la nuclear, recursos radioactivos, etc., mientras que la energía solar se considera *“plug and play”*” (Sol Energy Systems Inc., The Many Benefits Of Utilizing Solar Energy, 2016, Sección de Beneficios de la Energía solar para Filipinas, párr. 5)

Con “plug and play”, Chua se refiere al termino de que, una vez los paneles están instalados, se puede empezar inmediatamente a generar electricidad para la demanda conectada.

Y esta practicidad de poder tener un sistema que genere electricidad de una manera tan ágil, tiene efectos inmediatos en el sector social. En un estudio realizado

por Cara Baldwin (2015) para la escuela de sustentabilidad y medio ambiente de la Universidad de Saskatchewan, en Canadá, se descubrió que:

...después del momento de instalación de plantas solares residenciales, se notaron cambios positivos en la comunidad en los ámbitos de medios de comunicación, educación, sentimiento de comunidad, creación de puestos de trabajo, estilo de vida, confiabilidad en el servicio eléctrico, uso de las tierras, accesibilidad al servicio eléctrico, y equidad social (p. 2).

Refiriéndonos justamente al ámbito laboral, de todas las fuentes de energía renovable, la PV, es la industria con más trabajos creados para el 2014, con 2.5 millones de puestos de trabajo, seguida solo por los biocombustibles con 1.8 millones (Baldwin, 2015, p. 6)

Y esos son datos del 2015, desde entonces los saltos que ha dado la tecnología PV le han abierto las puertas a una serie de innovaciones gracias a que cuando los costos normalizados de energía (levelized cost of energy, LCOE, por sus siglas en inglés) producto de combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural es más alto que los asociados a fuentes renovables, estimula la inversión en estos últimos, y actualmente, esa es la tendencia, el barril de petróleo sube, lo cual hace más atractiva la inversión en energías renovables, y hay un interés de la comunidad científica en el desarrollo de métodos y avances en el campo solar ya que personalidades del campo de estudio, como Elon Musk, presentan pruebas en el National Governors Association, en una ponencia publicada en el portal youtube.com “solo se necesita de un espacio de 100 millas cuadradas de paneles solares para alimentar a todo Estados Unidos” (National Governors Association, Ahead of the curve, 2017).

Pero es que no sólo es la oportunidad de que a través de la energía solar se solventa parte de la crisis energética mundial, sino que existe una utilidad metodológica, apoyada por la practicidad de esta tecnología, de homogenizar y facilitar los proyectos de construcción para granjas solares de manera que se logre estandarizar los procesos de conceptualización de estas y agilicen cada proyecto, tal como se menciona anteriormente en las palabras de Frankel, Perrine y Pinner. Ya que se espera que, si se disminuye la complejidad o se normaliza el estudio de

condiciones que circulan un proyecto solar, se pueda disminuir el costo de dichas instalaciones, logrando así reducir aún más los obstáculos que puede presentar este tipo de tecnología.

Finalmente, profesionalmente, esto presenta una variante muy atractiva para el campo de la ingeniería eléctrica, tal como se mencionó anteriormente, los estudios en la energía PV proponen una alternativa realista a la crisis energética que está pasando el mundo. Muchos países presentan dependencias a una sola fuente de fuerte generación, ya sea la hidroeléctrica, o distribuciones zonales de plantas termoquímicas alimentadas por derivados del petróleo, lo cual podría transformarse en tragedias humanitarias si un solo punto de la cadena de distribución falla, tal como pasó en Venezuela en marzo de 2019, o como solía suceder en China en épocas de alta sequía. Y es que los tiempos de sequía presentan al mismo tiempo la particularidad de baja nubosidad y amplio rango de horas de Sol, características que favorecen la generación fotovoltaica, todos estos hechos crean la necesidad de estudiar más estos sistemas y su aplicación, buscando la manera de que no comprometan tampoco la economía del individuo y acercarnos cada vez más a esa meta global de que el acceso a la energía sea generalizado.

5. ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo especial de grado tiene como objetivo el desarrollo de un proceso para la determinación de un estándar que simplifique la planificación de proyectos de construcción y la conceptualización de granjas de generación de energía solar mediante el estudio de cinco casos de estos proyectos en el área de California, en vista de que estos son los cinco proyectos más grandes de granjas solares, en una zona relativamente homogénea ambientalmente, de compañías contratistas distintas, y bajo las mismas condiciones políticas y sociales.

El alcance del proyecto cubre únicamente las fases de diseño y planificación, no incluye las fases de la puesta en marcha ni su gestión, es decir la aplicación y gestión del estándar.

El estudio se enfoca en el análisis del aspecto ecológico del proyecto, en la etapa de conceptualización, apoyado por los datos públicos de proyectos PV en California, Estados Unidos, llevados a cabo del 2013 al 2015, de manera que se pueda comparar el índice propuesto en granjas solares activas que presentan condiciones ambientales muy similares.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

1. ANTECEDENTES

1.1 Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo

El licenciado Ochoa presenta esta tesis a la Universidad de Cataluña como requisito para optar por la Maestría en Defensoría Pública con el propósito de comparar diferentes soluciones tecnológicas eólico solares de electrificación rural. Para esto propone el estudio de sistemas individuales, conectados a una microrred e híbridos, en la localización de la sierra norte de Cajamarca (Perú) y evalúa, mediante una serie de criterios técnicos y sociales su definición de pertinencia.

Una de las condiciones más importantes de su estudio es la aplicación de una metodología multicriterio que permita realizar la comparación e incluir lo anteriormente mencionado. Estos criterios tendrán como objetivo una comparación de utilidad para la conceptualización de alternativas de electrificación con energías renovables, replicables en cualquier sitio con características similares a las de comunidades rurales en países en desarrollo.

Los objetivos planteados por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo están enfocados a dotar de servicios energéticos (combustibles y electricidad) modernos, asequibles y fiables, en todas las poblaciones rurales. En muchos de los casos, los sistemas autónomos, separados de la red son los utilizados en comunidades rurales dentro de países en vías de desarrollo para cubrir sus necesidades energéticas básicas (servicios domésticos, comunicación, usos productivos, servicios sociales, entre otros), debido a la dificultad y el costo que involucra conectar estos sitios remotos al sistema eléctrico nacional.

Al mismo tiempo, el desarrollo de energías renovables ha venido ganando popularidad en el ámbito rural, las convierte en un área de oportunidad para la electrificación de poblaciones aisladas, haciendo que la conexión o no con la red nacional no es un limitante para establecer una localidad. Sin embargo, las aplicaciones de estas tecnologías en programas de electrificación en comunidades

rurales presentan algunos retos conceptuales: La inexistencia de criterios específicos que permitan valorar conjuntamente su pertinencia técnica y social.

Pero independientemente del método utilizado, Ochoa presenta que el objetivo principal de todo proceso de conceptualización de proyectos de energías alternativas será el de maximizar la energía producida y la generación de ingresos, además denota la importancia de la participación y la aceptación de los resultados por las comunidades locales, es decir, el entorno social, con una mezcla de aspectos tecnológicos y sociales.

Ochoa plantea un estudio de planificación que tenga como objetivo facilitar y agilizar los procesos de toma de decisión a largo plazo para la electrificación de comunidades, tomando en cuenta que un factor muy importante para la efectividad de la planificación es definir una metodología que permita determinar un grupo de alternativas de electrificación, de acuerdo con los recursos naturales presentes en la comunidad.

Esto proceso debe ser evaluado de acuerdo a un grupo de criterios que deben contemplar tanto aspectos técnicos-económicos como aspectos sociales, logrando así, el desarrollo de un listado específico enfocado a las necesidades y características de la zona de estudio.

Finalmente, Ochoa menciona que no existe una herramienta en el mercado que realice un estudio de evaluación de alternativas energéticas de electrificación rural que permita personalizar los criterios a evaluar, por ello crea este análisis multinivel, que es tomado como base para el estudio de efectividad propuesto en este TEG.

1.2 Procedimiento Multicriterio-Multiobjetivo de Planificación Energética a Comunidades Rurales Aisladas

La ingeniera Lázaro presenta esta tesis como requisito para optar por el grado científico de Doctor en la Universidad Politécnica de Madrid, con el objetivo de desarrollar algún método que apoye a la reducción de la complejidad de la toma de decisiones en proyectos del sector energético, sobre todo aquellos que se llevan a cabo en comunidades rurales.

El reto está en que cualquier toma de decisiones en los proyectos energéticos en dichas comunidades debe considerar los efectos que estos pueden tener sobre los costos económicos, medioambientales y sociales, para los cuales, Lázaro diseña un modelo llamado Generación Energética Autóctona y Limpia, basado en los métodos PAMER y SEMA, incluyendo un procedimiento multicriterio-multiobjetivo de apoyo al proceso de planificación energética de proyectos de este contexto.

Lázaro menciona que independientemente del procedimiento a tomar, se deben cumplir cinco objetivos fundamentales:

- La minimización de los costes energéticos,
- La minimización de emisiones de CO₂,
- La minimización de emisiones de NO_x,
- La minimización de emisiones de SO_x, y
- La maximización de la Aceptación Social del proyecto Energético

La investigadora concluye que para que cualquier proceso de planificación sea exitoso se debe tomar, con suma importancia, el efecto de la Aceptación Social, ya que, de acuerdo con esto, se puede adaptar cualquier medida que garantice el suministro de energía para la zona.

1.3 Development of a Renewable Energy Power Supply Outlook 2015 for the Republic of South Africa

Este documento, escrito por el ingeniero Sebastian Giglmayr, en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Viena, Austria, como parte de su proceso de estudio de Maestría, menciona que la infraestructura eléctrica de Suráfrica se encuentra desactualizada y no logra cumplir con la demanda eléctrica presente, la distribución es centralizada y la generación es fuertemente dependiente de combustibles fósiles y carbón, y se espera que en cualquier momento se produzca

una falla generalizada cuando este sistema sea insuficiente para cubrir la carga ascendente.

Para solucionar esto, el gobierno local ha estado buscando soluciones sustentables que permitan expandir la capacidad del sistema y garantizar un desarrollo de gran escala de proyectos de generación de energía renovable conectados a la red, mediante productores independientes con el apoyo de mecanismos de subsidio.

La tesis entonces incluye un análisis independiente de cuatro escenarios donde la generación provendrá de fuentes fotovoltaicas, eólicas, hidroeléctricas o termosolares, estudiando la contribución que estas medidas puedan entregar a la red eléctrica cada hora y comparando eso con el crecimiento de la demanda en ese mismo tiempo.

Giglmayr concluye que para poder adaptarse a los cambios de carga y a su comportamiento, todo sistema debe ser considerado como si su diseño se dedicara a una demanda que siempre se encuentre en su punto máximo, lo cual aportará una fluctuación de datos que facilitará cualquier proceso de planificación y toma de decisiones.

1.4 Solar Energy Assessment Based on Weather Station Data for Direct Site Monitoring in Indonesia

Esta tesis de maestría, presentada por el ingeniero Stefan Küchler a la Universidad de Dalarna de Energía y Tecnología Medioambiental evalúa cuál sería el mejor posicionamiento para sistemas de mediciones de datos ambientales que estudien la viabilidad de proyectos PV.

El estudio depende fuertemente de especificaciones meteorológicas de organizaciones internacionales, para disminuir costos de instalación de sensores locales que pueden verse comprometidos por variaciones cercanas al suelo.

De acuerdo con Küchler, en algunas zonas se descubrieron variaciones de radiación solar que llegaron a valores de 42% apoyados por mediciones satelitales, lo cual causaría una caída de generación PV de casi la mitad de la capacidad instalada para algunas épocas del año, lo cual debe ser considerado en el proceso de planificación de la granja solar. Pero, por otro lado, con elevaciones de solo 10% sobre la cota del terreno de estudio en Indonesia, se descubrió un aumento de generación llegando a generar 8.82 MWh/año con un sistema de 7.7 KW, con posibilidades de aumento a 9.13 MWh/año con solo una actualización de tecnología, lo cual permitiría la alimentación de la carga de un campus universitario completo con solo el área del techo de sus edificaciones, demostrando que variaciones del recurso ecológico se pueden compensar con tecnología y modificaciones de la planificación inicial de instalación.

1.5 Les Systemes Energetiques A Usage Productif Par La Techonologie Photovoltaique

Esta tesis de Maestría presentada por Euphraïm Dade, al Instituto Internacional de Ingeniería del Agua y el Medioambiente, de la fundación 2iE, tuvo como objetivo estudiar el potencial energético para fuentes renovables solares de Benin, descubriendo que el valor de la energía solar incrementa cuando se aplica a zonas rurales, donde la cobertura de la red es de alrededor del 3% de la demanda total.

En este sentido, Dade presenta la tecnología PV como una herramienta productiva para la alimentación de la demanda en zonas de bajos recursos económicos.

De acuerdo con esto, se evaluaron los efectos socio-económicos de realizar instalaciones PV en estas localidades y su potencial de expansión, identificando posibilidades de usar la tecnología PV no solo como una herramienta social, sino económica para generar empleos y ganancias monetarias si durante el proceso de planificación se toman en cuenta análisis de rentabilidad de tipo AGR.

Aunque el estudio concluye con que, en efecto, las instalaciones PV se convierten en focos de ingreso económico para zonas rurales, su dispersión como una solución para la electrificación de este tipo de áreas y su estímulo económico, se necesita el apoyo del gobierno local en forma de subsidios estatales, además de la colaboración del sector privado y de instituciones que realicen microfinanciamientos, de manera que se facilite el estudio de factibilidad económica de cualquier proyecto PV.

2. BASES TEÓRICAS

2.1 ¿Qué es un Proyecto?

De acuerdo con el PMBOK, un proyecto es **“un trabajo realizado que cumple con las características de:**

- **Llevado a cabo por personas**
- **Distribuye recursos limitados**
- **Incluye planificación, ejecución y control”** [*sic*] (PMBOK, 2017, p. 1)

Los proyectos son implementados como un medio para impulsar el plan estratégico de una organización, con la particularidad de que los proyectos tienen un principio y un fin, y son únicos. De acuerdo con esto, la definición sería: “un proyecto es una actividad temporal cuyo objetivo es crear un producto nuevo o un servicio” (PMBOK, 2017, p. 1).

Cuando una compañía lleva a cabo un proyecto es porque el producto o servicio que se quiere ofrecer no se encuentra dentro de las actividades operacionales regulares de dicha organización.

Pueden ser completados por un solo individuo o un grupo, y pueden involucrar sectores aislados de la organización o pueden ser de cooperación interdepartamental, pero todo proyecto tiene como objetivo la implementación de la estrategia de la compañía.

2.2 Gestión de los Interesados

En cualquier proyecto de granjas solares, se tienen los mismos interesados o involucrados, entre los que se encuentran el consumidor final, la compañía eléctrica, la compañía de cobro de los servicios eléctricos (que en algunos casos es la misma compañía eléctrica, solo diferentes departamentos), la compañía de distribución de energía (al igual que la compañía de cobro, en algunos países, esta es solo otro departamento de la compañía eléctrica), la municipalidad y el gobierno nacional. Hay pequeñas variaciones dependiendo de la burocracia, pero los que se mencionaron anteriormente tienden a ser constantes independientemente de la

distribución de la granja o del proyecto. La tabla 2.1 muestra una gestión de “stakeholders” para un proyecto de granja solar involucrando todas sus partes como elementos individuales.

Stakeholders	Objetivo	Valor Agregado	Rol y Responsabilidades
Consumidor Final	Estilo de vida sustentable; deseo de pagar menos por la energía que consume actualmente; crear conciencia social; disfrutar de un servicio conveniente	Generar energía verde; reducir emisiones de CO ₂ ; crear puestos de trabajo locales; RDI razonable; reportes investigativos; servicios convenientes	Participar en el parque de generación eléctrico y cooperar en la inversión colectiva para la construcción de una granja solar a beneficio de la comunidad para generar energía.
Compañía eléctrica	Propósito de creación de beneficios económicos; reinvertir en proyectos que ayuden a lograr un servicio de energía local, económico y sustentable	Lucro	Proveer el servicio de la granja solar creado por el proyectista; incluye actividades de instalación y mantenimiento de la granja solar
Compañía de cobro de servicios eléctricos	Lucro	Lucro	Realizar el pliego tarifario y ajustar el cobro de la tarifa de energía producida por todos los servicios de generación conectados, incluyendo la granja solar. Esta compañía también se involucra, normalmente, en el mantenimiento del servicio
Compañía de distribución de energía	Lucro	Lucro	Asegurar la transmisión del servicio eléctrico
Municipalidad	Reducir las emisiones de CO ₂ para lograr metas nacionales o regionales y estimular la economía local	Reducir emisiones de CO ₂ y estimular la economía local creando puestos de trabajo.	Facilitar la generación de energía en el proyecto y estimular el crecimiento de energías verdes. Estimular la economía local. Proveer y facilitar licencias y permisos requeridos para la operación de la granja.
Gobierno Nacional	Reducir las emisiones de CO ₂ para lograr metas nacionales o regionales y estimular la economía local	Reducir emisiones de CO ₂ y estimular la economía local creando puestos de trabajo.	Proveer subsidios para estimular inversiones en energía renovable

Tabla 2.1 Gestión de Los Interesados en un Proyecto PV

Fuente: A business model design framework for the viability of energy enterprises in a business ecosystem, Summarised stakeholder analysis for the community-owned solar farm business ecosystem (2011), por: Dsouza

2.3 Benchmarking

De acuerdo al PMBOK, en su versión del 2017, el Benchmarking es una herramienta o técnica usada durante la gestión de calidad del proceso de planificación, “involucra una comparación actual o planificada de prácticas del proyecto a otras de diferentes proyectos, para generar ideas de mejora y prever un estándar desde el cual se puede medir el desarrollo de un proyecto” (PMBOK, 2017, p. 98). Los proyectos comparados pueden ser llevados a cabo por la misma compañía o por otras por fuera de la organización, y pueden compartir procesos o no.

Su aplicación se lleva a cabo a manera de tabla donde ya sea por combinación de datos o juicios de expertos, se asigna una puntuación binaria que luego se totaliza y se suma la contribución total fraccionada, multiplicando por los factores que se quieren evaluar.

2.4 Análisis Terrestre en el Diseño y Construcción de Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red

Lo primero que hay que hacer en el proceso de conceptualización de una granja solar es establecer un modelo de negocios, donde se detalle de manera específica, toda la documentación necesaria para asegurar que el proyecto esta correcta y completamente financiado, ya sea mediante préstamos o financiamiento bancario con presupuestos sustentables. (Neil, Stapleton y Martel, 2017, p. 23)

El éxito del proyecto, aun antes de su comienzo, va a ser producto de la cooperación entre el desarrollo técnico experimentado y entidades financieras expertas. Es imperativo entonces que dentro de la gerencia de los interesados (stakeholders) tengamos gerentes estudiados en el área con conocimientos y preparación IPC (ingeniería, procura y construcción), que pueda entender y adaptarse a la volatilidad del mercado, y los riesgos involucrados en la inversión en proyectos solares.

El primer paso entonces es el estudio económico del proyecto, respecto a cuáles son los beneficios financieros que ofrece el área, ya sean créditos, deducciones de impuestos, depreciación acelerada, etc. Actualmente muchos

países en el mundo, ya sea por iniciativa propia o por influencia de los organismos internacionales, apoyan los proyectos de generación energética renovable con financiamiento indirecto, o directo, y comparativamente hablando, es mucho más viable un proyecto que involucra altos niveles de inversión, como son las granjas solares, cuando el riesgo se distribuye y el capital inicial se reduce gracias al beneficio del estado. En esto, Neil, Stapleton y Martel, recomiendan que un punto central a considerar dentro del diseño de una granja solar son los ingresos proyectados a futuro ya sea alimentando a la red o como un sistema individual (p. 56).

Sin embargo, la importancia de los recursos naturales disponibles son clave para el estudio de factibilidad del proyecto, incluso, el uso de softwares para el cálculo de las condiciones del medioambiente para la planificación de granjas solares, es importante, como HELIOS 3D, donde según este estudio, se menciona que la distribución del Sistema va a depender de la información recolectada, sobre recursos naturales, para su estudio durante la etapa de planificación. Esto incluye:

- “forma y tamaño del área disponible;
- límites del área;
- estructuras circundantes;
- planificación de acceso al sitio; y
- actual uso del terreno” (Neil et al., 2017, p. 67)

Uno de los únicos recursos que no se pueden ajustar y son inherentes del sitio escogido para el desarrollo de una granja solar es la radiación solar, ya que, por ejemplo, “una granja solar construida para suplir electricidad a una ciudad alemana, necesitaría ser de un tamaño considerablemente mayor a una granja solar construida para suplir la misma cantidad de energía a un a ciudad en California, USA” (Neill et al., 2017, p. 68). En la Figura 2.1, se presenta al estado de California en Estados Unidos como sitio de estudio, en materia de radiación solar. En esta figura, podemos ver la comparación de la radiación solar y su equivalente en kilovatio producido por hora en cada metro cuadrado de terreno durante un año de estudio (kWh/m²/Año) entre Estados Unidos, Alemania y España.

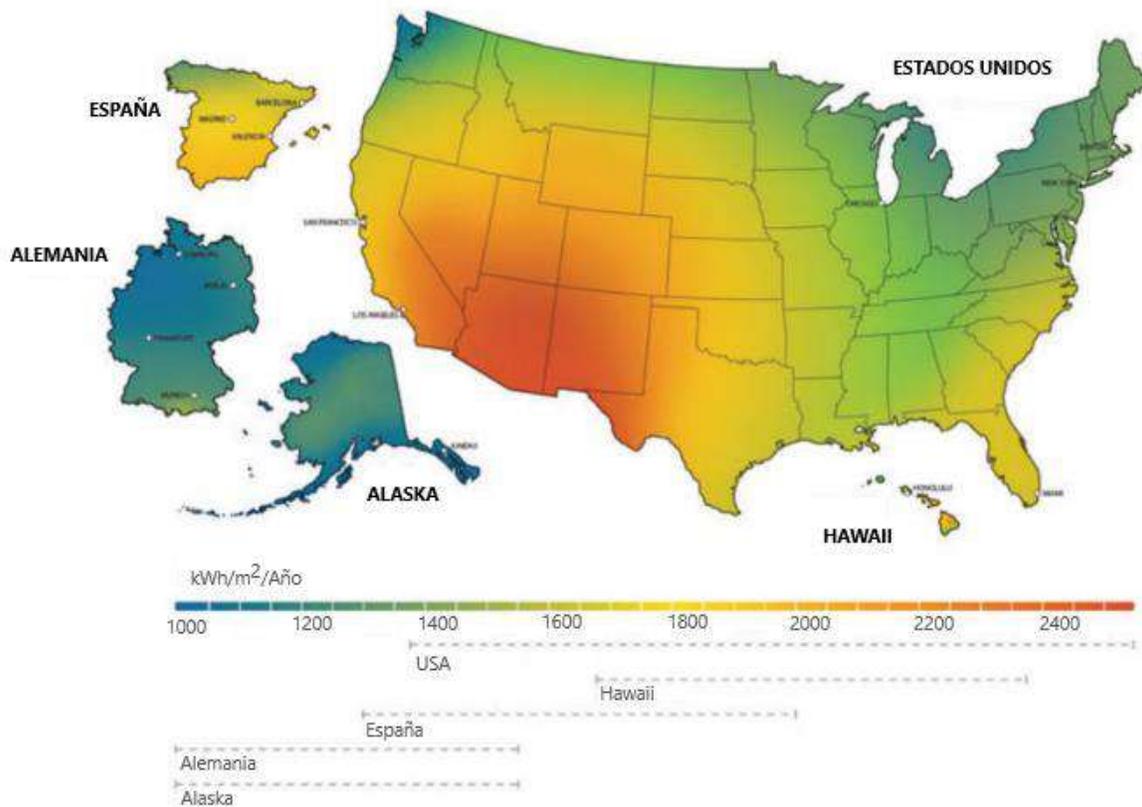


Figura 2.1 Comparación de radiación solar entre USA, España y Alemania
 Fuente: Solar Farms: the Earthscan Expert Guide to Design and Construction of Utility-Scale Photovoltaic Systems (2017), por: Neill et al., p. 98

Para referencia, los autores también incluyen una lista de las granjas solares más grandes del mundo, mostrada en la tabla 2 de los anexos, donde podemos ver en sus ítems 1, 2, 3, 4, 7, 8 y 10 las granjas solares que se utilizan como referencia en este documento.

2.5 Plantas de Energía Solar Fotovoltaicas para la alimentación de la Red

De acuerdo con la “International Finance Corporation” (Corporación Internacional de Finanzas o IFC por sus siglas en inglés), lo primero que hay que considerar son los aspectos económicos en la planificación de una granja solar, pero para el IFC el costo de la energía generada es el punto fundamental.

La ventaja es que muchas veces, los incentivos económicos de la zona compensan los costos de inversión del proyecto, inmediatamente haciendo viable su construcción. Y esto no solo sucede en relación a condiciones económicas, tal como se mencionó anteriormente en el trabajo de Cilveti, si la radiación solar compensa el costo de seleccionar un lugar donde las condiciones geográficas no son favorables, el proyecto sigue siendo viable.

El IFC describe separadamente los efectos de los recursos naturales sobre la conceptualización, en especial la contaminación aérea, suciedad sobre los módulos, sombreado y la temperatura de los módulos.

Sobre la contaminación aérea, el IFC menciona que “la comunicación aérea reduce la radiación solar incidente en los módulos, lo que a su vez reduce la generación de energía” (IFC, 2015, pág 32). En relación a este recurso, se preferiría un lugar con bajo niveles de contaminación en la atmósfera.

La suciedad sobre los módulos se considera un recurso natural porque proviene de dos fuentes, del polvo sobre el terreno, y del excremento aviar, y es compensado por la frecuencia pluvial y el calendario de limpieza de operación y mantenimiento. De acuerdo al manual “las pérdidas por suciedad pueden ser relativamente altas comparadas con otros factores, potencialmente puede llegar hasta un 15 por ciento” (IFC, 2015, p.55). Debido a esto, la planificación de la granja podría verse afectada cuando las pérdidas no solo reflejan fallas en la generación sino un hándicap financiero, ya que, a menos producción, menos venta de energía.

El sombreado puede ser producto de cercanía a montañas o edificios, o por errores en el cálculo de la distancia entre módulos. Este recurso natural se estudia con gran nivel de detalle, mediante el uso de softwares de representación 3D para simular la sombra creada por vegetación, geografía u obstáculos y todo debe ser planificado con detalle porque es uno de los únicos recursos naturales que se pueden controlar.

Finalmente mencionan la temperatura de los módulos, que como estándar se toma 25°C como temperatura promedio sobre los paneles solares, tomado esto en

cuenta, “la temperatura del entorno afecta inversamente la producción de energía, donde por cada grado sobre el estándar, se pierde 0.5 por ciento de eficiencia” (IFC, 2015, p. 79), así que se prefieren lugares donde los vientos puedan proveer un efecto refrigerante.

2.6 Radiación Solar

Cuando se habla de radiación solar, se refiere a “la energía transferida por ondas electromagnéticas desde una fuente, en este caso El Sol, hacia fuera de su núcleo en todas las direcciones” (Basurto, 2015, p. 10). Por su naturaleza, no necesitan medio por el cual propagarse, ya que permean el espacio interplanetario, diluyendo su carga energética por cada medio que pase, por ello tenemos diferentes mediciones en paneles solares en el espacio y sobre la superficie terrestre.

2.6.1 Tipos de radiación Solar

Dependiendo de su incidencia sobre una superficie, la radiación solar puede ser de tres tipos:

- **Directa:** es el tipo de radiación que se recibe directo del Sol sin haber sido reducida por un medio permeable
- **Difusa:** es el remanente de radiación que incide sobre una superficie cuando se ha dispersado al atravesar un medio, por ejemplo, la atmósfera terrestre.
- **Reflejada:** Es la que se refleja en la superficie terrestre.

2.6.2 Radiación Solar en la Atmósfera Terrestre

Según Honsber y Bowden (2011), fuera de la atmósfera terrestre la radiación solar calculada usando la densidad de poder de radiación en la superficie solar H_{sun} , el radio del sol R_{sun} , y la distancia entre la Tierra y el astro. Aproximadamente se dice que la radiación solar en la atmósfera es de $1.36 \text{ kW}/\text{m}^2$ el cual se tiende a definir como $H_{constant}$.

Para las celdas fotovoltaicas hay que considerar que la densidad de poder en un momento dado varía dependiendo de la distancia entre la Tierra y el Sol, la

cual cambia debido al movimiento elíptico de la órbita de nuestro planeta alrededor del astro, además que el poder emitido por el sol no es una (Honsber y Bowden, 2011). En el lapso de un año la variación típica es aproximadamente 3.4% con el punto de mayor radiación solar en enero y el de menor medición en julio (Honsber y Bowden, 2011).

Para montajes residenciales o de baja carga las variaciones que esto incurre son muy pequeñas para afectar la generación fotovoltaica y tienden a ser consideradas constantes. Debido a esto el valor de radiación solar y su espectro es definido a AM 0 y toma el valor antes definido como $H_{constant}$.

2.6.3 Radiación Solar en la Superficie Terrestre

Mientras que la radiación que incide en la atmósfera terrestre es relativamente constante, la que alcanza la superficie de la Tierra varía dependiendo de factores muy variados, y los cambios son lo suficientemente considerables como para afectar el total de poder recibido por celdas fotovoltaicas, y es que uno de los cambios más importantes es el hecho que en un punto estático de la Tierra, la radiación varía de forma muy dramática. Pero, según Honsber y Bowden (2011), los cálculos se vuelven aún más complejos cuando se considera que hay diferencias por situaciones tan simples como la longitud de un día o la latitud en la que se encuentra el punto a estudiar.

Incluso después de las reducciones de cantidad de energía que llega a la superficie terrestre producto de los factores que limitan este proceso, el total de energía producto del sol que alcanza la superficie cada hora, es mayor a la energía usada por toda la población del mundo en el transcurso de un año.

2.7 La Energía Solar Fotovoltaica en el Contexto de las Energías Renovables

Básicamente un sistema fotovoltaico o PV es una instalación que transforma energía producto de la radiación solar en energía eléctrica a través de una reacción química en módulos fotovoltaicos.

Esto se logra aprovechando la energía producto del choque de fotones con la célula fotovoltaica, siendo dividido dicho fotón en electrones y protones, que son recogidos por un semiconductor en el panel solar y transformado en una corriente eléctrica (Basurto, 2015, p. 13).

La demanda global de energía renovable continúa creciendo, llegando “en el 2013 a satisfacer el 19% de la demanda total de energía del mundo, y dentro de ese 19%, 1.35% representa a la energía solar, ya sea fotovoltaica o termosolar”. (Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2016, p. 4)

A finales de 2014, hubo una estabilización de la demanda, en parte producto de la crisis económica global, pero esto permitió que se la inversión y desarrollo en energías renovables tomara campo como una opción económica para generar potencia eléctrica, “llegando a 1712 GW de potencia total instalada de fuentes renovables. Dentro de ese número, las fuentes eólicas y la solar fotovoltaica aportaron más del 90% de la nueva capacidad de origen renovable no hidráulica”. (ANCEFN, 2016, p. 5)

Si bien, la participación de la tecnología PV en el contexto de la generación global tiene mucho por avanzar, ha sido la de mayor crecimiento en los últimos años. En promedio, “entre 2009 y 2014 tuvo un promedio de crecimiento de capacidad instalada anual de un 50%, la mayor de todas las energías renovables” (ANCEFN, 2016, p. 5). Luego del 2014, la tasa de crecimiento de la tecnología PV siguió siendo la más elevada, solo comparable con la energía térmica obtenida mediante concentradores de radiación solar (CSP, Concentrating Solar Thermal Power), aunque la potencia total instalada de CSP es muy inferior a la de fuentes PV.

2.8 Tipos de Paneles Solares

Las tecnologías en paneles solares avanzan velozmente buscando mejorar la eficiencia de estos en la transformación de energía, pero, “los dos tipos más comunes son las de Silicio puro monocristalino y el silicio puro policristalino” (Basurto, 2015, p. 17). Cada una se describe de la siguiente manera:

- a. Silicio Puro monocristalino: es la más común, se fabrican purificando el silicio, para fundirlo y transformar en lingotes que hacen células individuales. Este proceso los hace los más eficientes y efectivos, del mercado al momento, pero a su vez, los más caros.
- b. Silicio puro policristalino: el proceso es parecido al anterior, solo varía en la cristalización del silicio. Para esto se agarran varias barras de silicio y se cortan en secciones haciendo una estructura desordenada de aspecto granulada. Esta forma los hace menos eficientes, pero como se pueden hacer prácticamente con desechos del proceso de fundición, son más económicos.

2.9 Efectos Atmosféricos

Según Honsber y Bowden (2011), debido a efectos atmosféricos, las aplicaciones fotovoltaicas varían de la siguiente manera:

- Se reduce el poder de radiación solar debido a la absorción, dispersión y reflexión de los rayos en la atmósfera terrestre
- El contenido espectral de la radiación solar se reduce
- Se incluyen elementos de difusión o componentes de radiación indirecta
- Por efectos de vapor de agua, nubes y contaminación el ángulo de incidencia y la dirección del rayo varían por fuera del comportamiento común.

2.10 Efectos de las nubes y variaciones locales en la atmósfera

Dependiendo del tipo de nube que cubre un área, el poder incidente sobre una celda solar puede ser reducida de manera muy severa, más adelante en este capítulo describe el efecto conocido como sombreado, una nube muy densa puede reducir la entrega de energía por una celda solar por más de 40% dependiendo del ángulo de inclinación en que la celda se coloca (Honsber y Bowden, 2011). Un estudio en Melbourne sobre celdas en inclinación de 60° en un mismo día, bajó dos

condiciones de nubosidad completamente opuestas se muestra representa en el gráfico 2.1 (Mack, 2013)

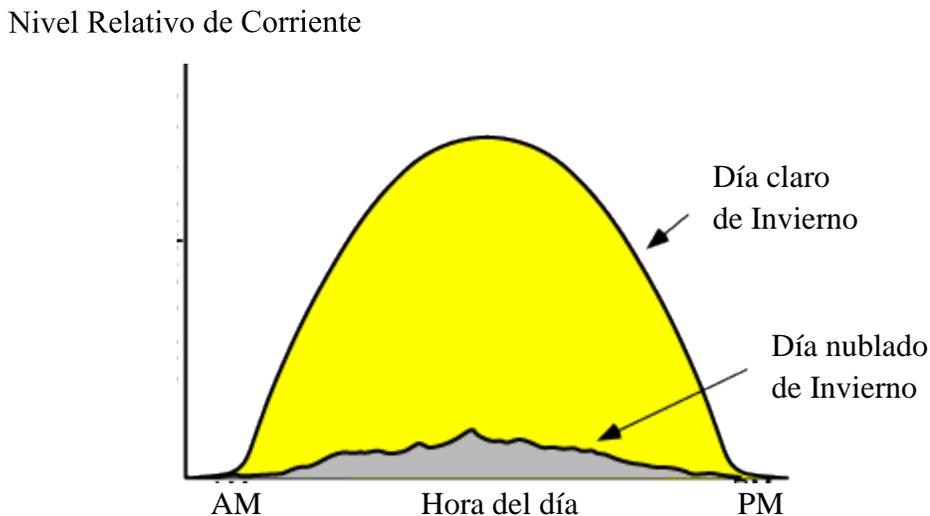


Gráfico 2.1 Efectos de Nubosidad sobre una Celda solar a 60° de Inclinación

Fuente: Mack, 2013

2.11 Ángulo de Elevación

Cuando hablamos de ángulo de elevación nos referimos a la altura angular del Sol medida desde la horizontal, es decir, el ángulo que existe entre un observador parado en la superficie terrestre y el Sol. Refiriéndose Honsber C., Bowden S. (2011), a este tema cuando mencionan que la elevación es 0° al amanecer y 90° cuando el Sol está directamente perpendicular a la superficie terrestre. Este ángulo varía a través de todo el día y depende de la latitud de un punto en particular de la superficie de la Tierra y del día del año.

Un parámetro importante en el diseño de sistemas fotovoltaicos es el ángulo máximo de elevación, el cual ocurre en lo que se denomina mediodía solar, ya que teóricamente, será el mayor ángulo que alcanzará el astro en su altura y ayuda a ajustar la inclinación de los paneles para aprovechar al máximo la radiación solar.

Si queremos ser más certeros en el diseño de sistemas fotovoltaicos se requiere el conocimiento de cómo el ángulo de elevación varía a través del año.

Como se puede notar, el ángulo máximo de elevación del Sol, varía según la hora del día y el lugar donde se esté estudiando, con los trópicos teniendo los máximos más grandes mientras que en los polos, dependiendo de la época del año, podemos tener épocas con ángulo máximo casi igual a 0, es decir, no amanece.

2.12 Amanecer y ocaso

El Amanecer y el Ocaso son momentos específicos representados por horas, minutos y segundos en un día. Para el cálculo de estos tiempos se establece el ángulo de elevación como 0 y se agregan las ecuaciones para corrección de tiempo TC (que dependen del lugar en el globo terrestre que se encuentre un observador), con d representando el día del año (siendo el 1 de enero el día 1) y se ajustan según el tiempo local estándar meridiano.

Su importancia radica en que, al determinar estos dos momentos del día, los planificadores de granjas solares tienen un rango de tiempo exacto en el cual van a contar con luz y radiación solar, permitiendo proyectar cuáles serán las horas útiles, u horas de generación energética para el proyecto.

2.13 Radiación Solar Sobre una Superficie Inclinada

El poder incidente sobre un módulo fotovoltaico depende no solamente de la potencia contenida en el rayo solar, sino también en el ángulo entre el módulo y el Sol. Cuando la superficie absorbente y la luz solar están perpendiculares, la densidad de poder en la superficie es igual a la de la luz solar, es decir que la densidad de poder siempre va a ser máxima cuando el módulo está perpendicular al sol (Honsber y Bowden, 2011). El problema está en que dicho ángulo entre una superficie estática y el sol siempre está cambiando, la densidad de poder sobre una celda fotovoltaica fija siempre va ser menor a la de una celda con ejes pivote para seguir el movimiento del Sol. Angularmente, la figura 2.1 sirve para representar gráficamente cómo se muestran los componentes de la luz solar incidente sobre un módulo solar.

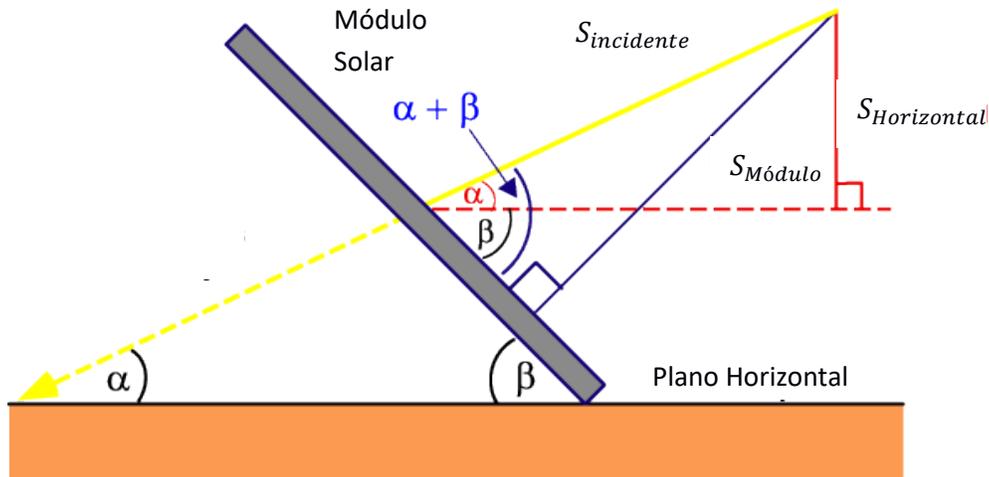


Figura 2.2 Radiación sobre una superficie inclinada
 Fuente: PV CDRM, (2011), por: Honsber y Bowden

Para aprovechar al máximo la incidencia de los rayos solares sobre la superficie inclinada de un panel, se usan los ejes pivotes mencionados anteriormente, que no son más que puntos de articulación ajustables, ya sea manual o automáticamente, para graduar la inclinación del panel y mantenerlo la mayor cantidad de tiempo posible en perpendicular con la radiación solar.

2.14 Sombreado

Para los módulos PV se denomina sombreado a la obstrucción del rayo solar ya sea por fuentes sólidas o suaves. La presencia de una rama de árbol, antenas, chimeneas, o cualquier otro elemento que se atravesase en el camino de la radiación solar causa una sombra que se comporta como un rayo difuso o disperso. Esta característica es muy particular debido a que el diseño de las celdas fotovoltaicas causa que si una de 36 de las celdas individuales está sombreada el voltaje del módulo se divide a la mitad para protegerse eléctricamente de fallas por cambios en la tensión interna del módulo (Honsber y Bowden, 2011). Cuando suficientes celdas individuales están sombreadas el módulo no genera energía y se transforma de hecho en una pequeña carga para todo el sistema.

La ventaja de conectar celdas en serie para sumar la contribución de voltajes se transforma en una desventaja cuando se presenta sombreado, ya que cuando

una celda baja su contribución a la mitad toda la línea bajar la contribución proporcionalmente para equipararse al módulo sombreado (Honsber y Bowden, 2011). Los ejemplos mostrados en la figura 2.2 representan casos en los cuales el sombreado de esa área reduce la entrega de potencia del módulo a la mitad.

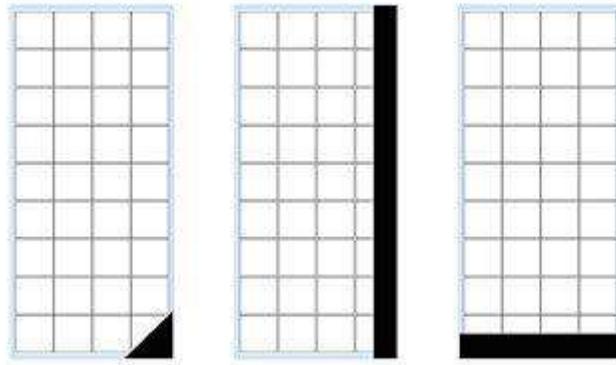


Figura 2.3 Ejemplos de Sombreado sobre celdas solares

Fuente: Wholesale Solar (2010)

2.15 Radiación Global Inclinada

Para entender el efecto de los recursos solares hay que definir primero que son los GTI o Global Tilted Irradiation (Radiación Global Inclinada en sus siglas en inglés), el cual se refiere al total de energía solar recibida por una unidad de área en una superficie inclinada, incluyendo los rayos directos y los difusos (los que inciden en un ángulo distinto al recto). En los aspectos técnicos, para el IFC un promedio de GTI alto anual es el más importante de los elementos.

2.16 Las energías alternativas en Venezuela

Para hablar de energías alternativas o renovables en Venezuela se tiene que clasificar de acuerdo al potencial, entendiéndose éste como “la cantidad de energía que pudiese obtenerse si se explotase totalmente la fuente” (Posso, 2004, p. 156). Los estudios públicos en este potencial aprovechable se muestran en la Tabla 2.2, que equivale a cerca de tres veces la producción promedio de petróleo diaria de Venezuela en el año 2002.

Tipo de Energía	Potencial (Mbep/d)
Mini-Hidro (hasta 50 MW/instalación)	0,13
Bioenergía	0,34
Solar (15% conversión, 1% TN + 0,3% de PM)	4,56
Eólica (3% conversión, 4% TN)	1,41
Geotérmica (2,5% TN)	0,15
Otras EA (oceánicas, híbridos)	0,53
Potencial Parcial	7,12
Hidroenergía en gran escala	1,86
Potencial Total:	8,98

TN: TERRITORIO NACIONAL

PM: PLATAFORMA MARINA

Tabla 2.2 Potencial Aprovechable de Energías Alternativas en Venezuela
Fuente: Estimación del Potencial de Energía Solar en Venezuela Utilizando
Sistemas de Información Geográfica (2004), por: Posso, p. 156

Analizando esta tabla podemos notar que “la energía solar representa el 51% del promedio nacional de energía incidente de 4,71 kWh/díaxm², casi el doble del promedio de Estados Unidos y superior al de México” (Posso, 2004, p. 156). Todo esto debido en gran parte a la ubicación de Venezuela en la región intertropical, siendo esta zona la de mayor aprovechamiento en energía PV por su alto recurso solar, sumada a la poca variación climática a través del año.

2.17 Minería de datos

Desde su creación, el internet ha sido una autopista continua de datos, no solo aquella generada por los usuarios en las páginas, sino también por su interacción con las mismas. Desde una simple visita a una red social como una publicacion científica, cada pieza de información presenta una importancia no solo social sino también comercial. Por esta razón nace la minería de datos, desarrollándose rápidamente como “una herramienta vital para entender el flujo de datos y dar valor económico a la información que obtenemos de ella” (Baeza-Yates, 2009, p. 6).

Dependiendo de su naturaleza, la minería de datos se divide en tres tipos:

- De contenido: cuando se buscan archivos de texto, imágenes, etiquetas (tags), metadatos, etc.;
- De estructura: cuando se buscan datos de enlaces y sus las relaciones entre ellos; y
- De uso: cuando se concentra en la interacción de las personas con alguna página.

De acuerdo con esto, la minería de datos que se usó para este TEG es de contenido. Este se obtiene recolectando todo el contenido de los sitios web usando software especial llamado recolector, o un programa.

Pero luego de la recolección se aplican técnicas de relacionamiento de variables, la más popular es la llamada “aprendizaje automático”. (Baeza-Yates, 2009, p. 6). Esta consiste en aprender como predecir variables en función de otras variables a través de subconjuntos de datos completos y luego evaluar cuán buena es la predicción en otro subconjunto de datos, pero la complejidad de estos procesos tiende a extenderse en forma de redes neuronales o “machine learning”, que se escapa del alcance de este estudio, así que esta técnica se sustituyó por una selección manual de variables previamente relacionadas.

3. BASES LEGALES

3.1 Legalidad Nacional

3.1.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela

De acuerdo con este artículo 127 del Capítulo IX de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela de 1999, se justifica un estudio como el planteado en este documento como una medida de protección ambiental, en un país donde la capacidad de generación eléctrica de sus fuentes renovables (hidroeléctrica) está llegando a un límite en su capacidad de generación, y la industria termoeléctrica de quema fósil se está tomando como

una respuesta práctica, pero contaminante. (Constitución República Bolivariana de Venezuela, 1999, párr. 232)

Además, en el artículo 128 se hace mención a cómo se debe distribuir el territorio venezolano; dentro de la ordenación del territorio mencionado, se tiene la asignación del uso de tierras, el cual es uno de los recursos naturales necesarios para el desarrollo de un proyecto de granja solar, apoyando el progreso de actividades sustentables, bajo las realidades y necesidades ecológicas y económicas de la población próxima al lugar propuesto para el proyecto. (Constitución República Bolivariana de Venezuela, 1999, párr. 234)

Finalmente, en el artículo 129 tenemos la obligación de conservar el equilibrio ecológico, ya sea con apoyo de elementos tecnológicos que ayuden a restablecer el ambiente en su estado natural. La tecnología PV ha sido evaluada, como se menciona anteriormente en este documento, como una de las tecnologías energéticas con menos impacto ecológico, sirviendo de opción para la restauración de un ambiente natural, y al mismo tipo, aprovechar su uso para satisfacer necesidades de servicios en la zona. (Constitución República Bolivariana de Venezuela, 1999, párr. 235)

3.1.2 Ley Orgánica de Servicio Eléctrico

Dentro de esta ley de la república de Venezuela, solo en el artículo 21, numeral 4 se menciona a las fuentes de energía renovables, como parte del Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, siendo esta mención, el compromiso de llevar “Acciones orientadas a impulsar el uso de las fuentes alternativas de energía, renovables y ambientalmente sustentables”. Aunque es importante mencionar que, para esta reglamentación, las energías renovables y alternativas son distintas, con la energía alternativa siendo solo la sustituye en sitio a las energías provenientes del gas, hidrocarburos o de fuentes hídricas. (Ley Orgánica de Servicio Eléctrico, 2010, párr. 80)

3.1.3 Ley Ejercicio De La Ingeniería, La Arquitectura Y Profesiones Afines

En el Capítulo IV, Artículo 9 del ejercicio profesional se habla de la responsabilidad del ingeniero, arquitecto o afines al cumplimiento de actividades de acuerdo a la capacitación proporcionada por la institución educativa que le confirió el título de profesional en el área, es decir, el profesional tiene la responsabilidad de utilizar la educación recibida para el cumplimiento de funciones para las cuales él sea provechoso. (Ley Ejercicio De La Ingeniería, La Arquitectura Y Profesiones Afines, 1958, párr. 11)

De acuerdo con esto, entre más avance el nivel profesional y académico del cuerpo ingenieril de Venezuela, más compleja es la responsabilidad de dicho cuerpo técnico de aplicar los conocimientos para la mejora de las condiciones del país.

3.1.4 Ley de Derecho de Autor

De acuerdo con el artículo 1 de la ley de derecho de autor en Venezuela, se protege la autoría sobre todas las obras del ingenio de carácter creador, ya sean de índole literaria, científica o artística, cualesquiera sea su género, forma de expresión, mérito o destino. (Ley Sobre El Derecho De Autor, 2015, párr. 1)

Siendo esta protección independiente de la propiedad del objeto material en el cual esté incorporada la obra y no están sometidos al cumplimiento de ninguna formalidad.

Luego en el artículo 2, se especifican las obras de ingenio que son consideradas dentro de la ley, las cuales son: los libros, folletos y otros escritos literarios, artísticos y científicos, incluidos los programas de computación, así como su documentación técnica y manuales de uso, entre otras, en fin, toda producción literaria, científica o artística susceptible de ser divulgada o publicada por cualquier medio o procedimiento. (Ley Sobre El Derecho De Autor, 2015, párr. 4)

3.1.5 Acuerdo Bilateral Venezuela-Vanuatu en cooperación energética

Desde el 2016, Venezuela mantiene relaciones diplomáticas con la República de Vanuatu como una manera de reforzar los mecanismos de cooperación bilateral, y uno de estos acuerdos es el presentado por el viceministro para Asia, Medio Oriente y Oceanía, Félix Plasencia, en el portal de la vicepresidencia de la república (<http://www.vicepresidencia.gob.ve>), menciona:

“Venezuela tiene la gran responsabilidad de desarrollar la energía solar a pesar de ser productor de petróleo por naturaleza y definición. Sin embargo, la ética socialista señala que tenemos que desarrollar nuevos tipos de energía y por su puesto energías limpias y renovables” (párr. 3)

Según esto, es responsabilidad del país el desarrollo de energías renovables solares, no solo en el interior del país, sino también, en territorios aliados, independiente del interés económico en el campo petrolero.

3.1.6 Acuerdo Multilateral Venezuela-Portugal-Francia-Rusia en energías renovables

En discusiones diplomáticas entre estos cuatro países se firmaron compromisos para apoyar el desarrollo de energías renovables en el país y transformarlo en la primera nación de Latinoamérica en uso de energías renovables. Dentro de estas conversaciones se estableció la energía solar como una fuente aprovechable tanto en el sector gubernamental como privado.

Según Cardozo, en el portal web de la asociación “Fundación Ambientalistas” (<http://www.azulambientalistas.org>), se propone su uso en escuelas, universidades, avenidas públicas, edificios de gobierno y centros comerciales, asumiendo como responsabilidad el estudio y aplicación de la tecnología PV en este tipo de edificaciones para el próximo decenio. (Fundación Ambientalistas, Venezuela: de Líder Petrolero Mundial a Líder en Energías Renovables, sin año, por: Cardozo, párr. 3)

3.2 Definiciones Legales

En el **Artículo III del Estatuto Internacional de la Agencia para Energías Renovables** se presenta: “el término ‘Energía Renovable’ se refiere a todas las formas de energía producidas de fuentes renovables y de manera sustentable, las cuales incluyen: (1) Bioenergía, (2) Energía Geotérmica, (3) Hidroeléctrica, (4) Energía Oceánica, incluyendo la energía producida por el movimiento de mareas y la energía térmica oceánica, (5) Energía Solar, (6) Energía Eólica.

Un **extracto de la definición legal número 2 presentada en el Artículo 2(a), de la Directiva 2009/28/EC en la promoción del uso de energía de fuentes renovables**, menciona: “energía de fuentes renovables, significa energía de fuentes renovables provenientes de recursos no-fósiles, es decir, eólica, solar, Aero térmica, geotérmica, hidrotermal, oceánica, hidroeléctrica, biomasa, gas subterráneo, gas tratado de fuentes de aguas residuales, plantas y biogases.

3.3 Precedentes Legales

El acuerdo más antiguo en materia de energía renovable y conservación ambiental es la **Declaración de Estocolmo sobre el Medioambiente Humano en 1972 en las Naciones Unidas (ONU)**, donde se expresa la preocupación por los “patrones no sustentables de producción y consumo [de recursos]” y se inicia un proceso de discusión y línea de acción para la conservación medioambiental e investigación en medios de producción renovables.

Luego en **1981**, la **Conferencia de la ONU sobre Nuevas y Renovables Fuentes de Energía**, en su resolución de la Asamblea General (AG) numero 36/193, establece metas de producción de energía proveniente de recursos renovables, bajo los cuales, los países miembros se comprometían a cumplir porcentajes de mínimo cumplimiento de demanda energética de fuentes renovables y fondos de inversión para estimular su investigación. En 1987, el **reporte Brundland de la Comisión Global para el Desarrollo del Medioambiente**, establece un “Futuro Común” en Desarrollo Sustentable, enfatizando la “necesidad

de [un] desarrollo que satisfaga las necesidades de la generación actual sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus necesidades” en su capítulo 7.V “Energía Renovable, un potencial sin aprovechar”, y la necesidad de invertir en su investigación, aplicación y desarrollo, incluido también en la **Declaración de Río en Desarrollo del Medioambiente** (en la ONU) en 1992.

3.4 Acuerdos Actuales

La iniciativa, **Energía Sustentable Para Todos** (SE4ALL, en su acrónimo en inglés) declaró con apoyo de las Naciones Unidas que para el 2030 se necesitaban cumplir una serie de metas: (i) Acceso universal a servicios de energías; (ii) Doblar la proporción de investigación en eficiencia energética; (iii) Doblar la proporción de energías renovables como fuentes de generación a nivel global de 15% a 30% durante la llamada “Década de la ONU para la Energía Sustentable Global” desde el 2014 hasta el 2024.

Más recientemente, el 25 de septiembre de 2015, en su resolución A/RES/70/1, la Agenda para Desarrollo y Metas Sustentables (conocida como la SDGs), establece la necesidad para acceder a energía sustentable de maneras más económicas, confiables y modernas, poniendo como objetivos que para el 2030 se deberían cumplir:

- Garantías económicas para asegurar acceso universal a servicios de energía renovable, modernos, y confiables
- Un incremento sustancial en la participación de la energía renovable dentro del mercado energético mundial
- Inversión para el desarrollo de tecnologías que doblen el promedio de eficiencia de fuentes de energía renovable, a través de:
 - Facilidades de comunicación internacional para lograr la cooperación en investigación y desarrollo de tecnologías en energía renovable, eficiencia energética y un uso más avanzado de combustibles fósiles, promoviendo el desarrollo de infraestructura dedicada a esto
 - Expandir y mejorar la infraestructura existente dedicada a suplir servicios modernos y sustentables de energía en países en desarrollo,

en especial en países con menor índice de avance tecnológico, estados islas, y países sin acceso al mar, de acuerdo con sus políticas internas de desarrollo

3.5 Regulaciones Actuales

En 1992 se crearon las **Guías de Convención de las naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC)** para promover y cooperar en el desarrollo, aplicación y difusión de tecnologías que permitan el control, la prevención y la reducción de emisiones contaminantes de los diferentes sectores económicos, incluido el sector eléctrico. Este reglamento creó las bases para que se firmara el llamado Tratado de París, en diciembre de 2015, que en conjunto con las Contribuciones Nacionales Determinadas (INDCs), establecieron los objetivos energéticos que toda nación debe cumplir, incluyendo la particularidad de que los países desarrollados deberían ser los responsables por el cumplimiento de dichas metas en la reducción o solo energética, sino económica, para permitir que países en vía de desarrollo se vean estimulados a emularlos. La única diferencia entre los objetivos del INDC y el UNFCCC es que las metas establecidas por el INDC se consideran obligaciones legales, mientras que el UNFCCC se basa en recomendaciones.

CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL

3.1 SECTOR PRODUCTIVO

Para poder clasificar las condiciones consideradas como criterio en el estudio de un proyecto de granjas solares, el IFC presenta los elementos que hay que tomar en cuenta para considerar un lugar como apto para el desarrollo de proyectos solares, es importante acotar que, aunque un lugar en específico que cumpla con todas estas consideraciones es idílico, entre más condiciones se cumplan, más efectivo será el proyecto.

- Recursos Solares

Básicamente, cuando se dice que el área tiene una alta disponibilidad de recursos solares, se refiere a un alto coeficiente de energía producida por cada kWp (kilovatio instalado).

En esto también incluimos las probabilidades de que exista sombreado sobre los paneles, ya sea producto de montañas cercanas, la proximidad de otro panel, árboles, edificaciones o cableado aéreo.

Es importante saber que el recorrido del Sol en los cielos varía a través del año así que se debe calcular el sombreado en toda época y prever que el posicionamiento del panel este de tal manera que no tengamos épocas oscuras.

- Área Disponible

Este recurso varía de acuerdo con la tecnología usada, ya que diferentes modelos tienen diferentes tamaños y el espacio que se necesita dejar entre filas de módulos solares es distinto, causando que el área total varíe. Básicamente, se debe elegir un lugar que disponga de área suficiente para que toda la capacidad instalada funcione la mayor parte del tiempo. En la siguiente tabla 3.1 se puede observar el efecto de la tecnología y la localización para la instalación de una planta de 1MW en el área requerida:

País	Tecnología	Área Aproximada (ha/MWp)
Suráfrica	c-Si	0.9 – 1.4
	cdTe	1.5 – 2.0
Chile	c-Si	1.0 – 1.5
	cdTe	1.7 – 2.2
Tailandia	c-Si	0.8 – 1.2
	cdTe	1.3 – 1.8
India	c-Si	1.0 – 1.5
	cdTe	1.6 – 2.0
Indonesia	c-Si	0.8 – 1.2
	cdTe	1.3 – 1.8

Tabla 3.1 Área requerida para la instalación de una granja solar de 1MW de acuerdo a la tecnología y la localización

Fuente: IFC, 2015

- Clima Local

Se debe hacer un estudio de la zona para asegurar que no hay eventos que puedan dañar o ensombrecer el funcionamiento de las celdas. Estos eventos pueden ser:

- Inundaciones: puede dañar los soportes de las estructuras en la organización
- Vientos de alta velocidad: los sistemas con seguimiento solar automático tienden a fallar cuando el viento supera límites aceptables de velocidad, y se apagan por seguridad
- Nieve: pueden ensombrecer zonas importantes y dañar los soportes del módulo por su peso sobre el panel, al mismo tiempo pueden dañar la superficie captadora de los paneles con impactos fuertes de nieve, se recomienda que la instalación de estos sistemas en lugares con fuertes nevadas supere en su cota más baja a la altura más elevada de la capa de nieve sobre las superficies del área.

Comúnmente hablando, no se tienden a construir sistemas PV en lugares con nevadas duraderas ya que los costos de mantenimiento superan a las ganancias.

- Temperatura: es inversamente proporcional a la eficiencia de la estructura. Si se está estudiando la posibilidad de instalación de una granja solar en lugares donde el promedio de temperatura es muy alto, entonces se deben prever la proximidad a fuentes de agua y tecnología desarrollada para estos casos, como módulos con bajos coeficientes de temperatura (se ven menos afectados por la temperatura ambiental).
- Contaminantes aéreos: la ubicación en relación a fuentes de contaminación aérea cercanas debe ser tomada en cuenta. Al igual que la nubosidad, fuertes masas de contaminación atmosférica pueden causar sombreado sobre las celdas y reducir su eficiencia. Al mismo tiempo, la distancia a la costa marina también se considera de la misma manera ya que elevados niveles de sal en la atmosfera corroen los componentes y causan los mismos efectos que la contaminación ambiental.
- Topografía
Idealmente la superficie debería ser plana o con una ligera inclinación hacia el sur, en el hemisferio norte y con una ligera inclinación hacia el norte en el hemisferio sur. En general los costos de las estructuras de soporte se comparan con los costos de adaptación de la topografía, y de allí se conoce cual opción es la más económica, sabiendo que, se puede adaptar la estructura a cualquier terreno
- Uso de la tierra
Idealmente se prefiere la disponibilidad de tierras de baja calidad, no aptas para el cultivo o pastoreo, y si la propiedad de estos terrenos no se encuentra en manos de los encargados del proyecto, el costo por hectárea debe ser considerado como un elemento más en el desarrollo de una granja solar. Dentro de estas consideraciones de uso de la tierra, se incluye también el acceso o no a utilidades presentes, como agua, electricidad, gas, aseo, y transporte.

Otro costo que se debe tomar en cuenta es el de re-clasificación del terreno, si ya se encuentra designado para otros usos como la agricultura, entonces todos los costos burocráticos se suman a los costos iniciales del proyecto.

Finalmente, se sumaría también el costo de remoción de árboles y vegetación que obstaculice la instalación de la granja, y los impuestos por las normativas ambientales. Por otro lado, si las estructuras se colocan lo suficientemente elevadas, se puede aprovechar el mismo terreno para el pastoreo de ovejas, diversificando el uso y sumando otra fuente de ingresos al proyecto.

- Regulaciones locales/políticas de zonificación y uso de la tierra
Estas difieren en cada país, pero incluyen limitaciones o restricciones por zonificación, incluyendo licencias y permisos especiales.
Dependiente de las leyes locales, este elemento puede elevar el costo o hasta imposibilitar el proyecto por completo.
- Designaciones del medio ambiente
Normalmente este es el primer elemento que se estudia para la gestión de planificación del proyecto, a través de un Estudio de Impacto Ambiental (Environmental Impact Assessment o EIA, por sus siglas en inglés) y un Estudio de Impacto Social y Ambiental (Environmental and Social Impact Assessment o ESIA), pero en los dos casos se incluyen subsecciones que son de vital importancia al estudiar la viabilidad de una granja solar:
 - Biodiversidad: se debe evitar trabajar en zonas con especies en peligro de extinción o en áreas necesarias para la proliferación de dichas especies. Por esta razón, áreas áridas o semiáridas son preferibles en la planificación de una granja solar.
 - Adquisición del Terreno: se debe evitar o disminuir la necesidad de relocalización involuntaria de individuos ya que la instalación de una granja solar involucra la ocupación de un terreno por un tiempo no menor a 25 años, al mismo tiempo, se debe evitar la relocalización de recursos económicos, como cultivos o empresas.

- Impacto social: esto incluye el mantenimiento de zonas de herencia cultural, embellecimiento del entorno, y zonas asignadas a poblaciones endógenas, por lo cual, se debe tomar en cuenta, para el desarrollo del diseño de la planta, que la estructura no cause impactos negativos en la estética del área, ya sea una zona urbana o rural.
- Condiciones Geotécnicas

Este punto trata sobre la química de las fundaciones del terreno para asegurar la estabilidad de las estructuras montadas, pero depende mucho del diseño de la estructura, variando de acuerdo a ciertos puntos:

 - El nivel freático de la zona
 - La resistividad del suelo
 - Propiedades de soporte de peso
 - Presencia de obstrucciones o rocas
 - Adaptabilidad del terreno a las condiciones de las fundaciones escogidas
 - pH del terreno, y composición química del suelo, incluyendo el nivel de corrosión a través del tiempo que puede causar en las estructuras de soporte
 - Nivel de contaminación presente en el terreno
- Accesibilidad

Simplemente es la evaluación de que tan cercano estará la estructura a la vía de transporte más cercana, o si hay que incluir en los costos la expansión de la vía de comunicación más cercana y conectar la granja solar a la autopista o carretera más cercana.
- Conexión a la Red

Dependiendo del uso que se le dará a la granja solar, se puede tener una conexión a la red eléctrica nacional o no, pero lo más común es que las granjas de gran tamaño formen parte del parque generador nacional, por lo tanto, para garantizar el transporte de la energía se necesita considera la capacidad de la red a soportar esta nueva generación conectada, la distancia, la estabilidad de la red, y su disponibilidad. Estos elementos son

de vital importancia, ya que condicionar la conexión a la red, si no se consideró inicialmente, puede elevar los costos exponencialmente. Cada uno de estos elementos se debe estudiar de la siguiente manera:

- Cercanía de la red: durante la fase de planificación del proyecto, hay que considerar la distancia a la red de transmisión y los costos de que se incluirán en el presupuesto de la granja para adaptar la conexión a la red, si se encuentra muy lejos de la fuente de generación.
 - Disponibilidad de la red: se refiere al porcentaje de tiempo que la red es capaz de aceptar potencia de esta nueva fuente de generación. Si el porcentaje es muy bajo, la generación no se aprovecha, y los ingresos no llegan, teniendo reacciones adversas a la economía del proyecto. En áreas en desarrollo, la disponibilidad de la red tiende a ser alta. La empresa eléctrica nacional debe ser involucrada para asegurar que la economía del proyecto se mantenga en saldos positivos y los objetivos de entregar potencia a la red se cumplan.
 - Capacidad de la red: esto depende de la infraestructura presente en la actual configuración de la red, los niveles de tensión deben ser los correctos y la subestación debe estar capacitada para esta nueva fuente de potencia.
- Cobertura modular con contaminantes
La eficiencia de los paneles solares se puede ver drásticamente reducida por la presencia de partículas contaminantes o incluso polvo, por esta razón, es importante tomar en cuenta el clima local, en entorno, y el ecosistema (ya sea la vida animal como la influencia humana), para evaluar la viabilidad del proyecto, tomando en cuenta:
 - Partículas de polvo producto al movimiento vehicular, construcciones cercanas, actividades agrícolas o tormentas de polvo.
 - Excremento aviar.
 - Acceso a fuentes de agua
El agua desmineralizada es necesaria para la limpieza regular de los paneles, por esta razón, el acceso a fuentes de agua limpia, o depósitos subterráneos,

o de ser necesario, tanques de agua, es requisito para estudiar la posibilidad de un proyecto como este. La cantidad de agua requerida varía de acuerdo a la tecnología seleccionada, pero en general, se trabaja con el promedio, 1.6 litros de agua por m² de módulos PV.

- Incentivos Financieros

Llamados también InFi's (o FiTs), se presentan también en forma de deducciones de impuestos y varían no solo de país a país, sino también entre estados, municipios y regiones. Para que un proyecto sea simplemente considerado, el IFC menciona que por lo menos un incentivo tiene que compensar los costos una limitante.

Al mismo tiempo, la interacción entre sus partes para el desarrollo de una granja solar como empresa se puede observar en la figura 3.1. Es importante mencionar, como se indica en el trabajo de la IFM, que todos estos departamentos hacen estudios individuales económicos, antes de que la construcción de la granja sea aceptada como un proyecto viable.

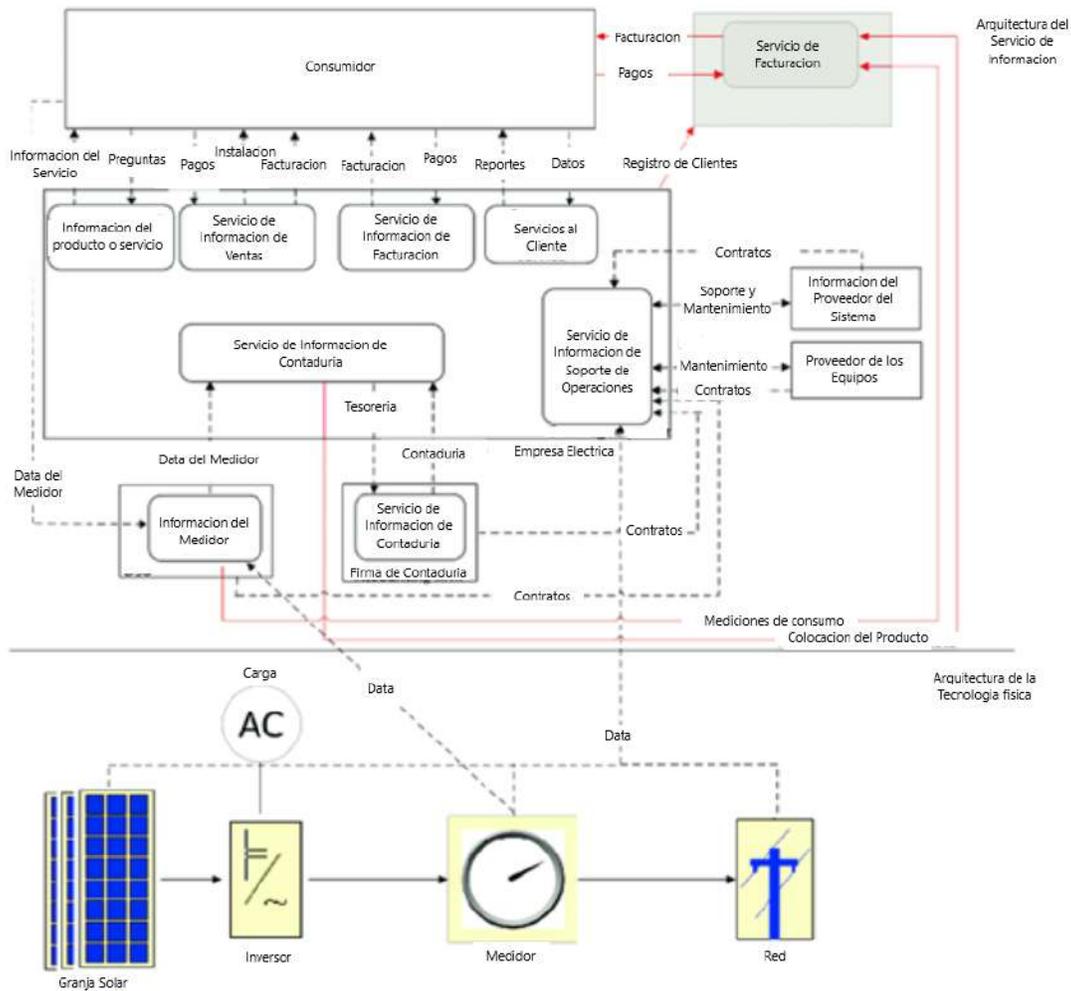


Figura 3.1, Arquitectura empresarial de una Granja Solar

Fuente: Dsouza, 2011

3.1.1 Estructura Organizacional de una empresa modelo de instalación/construcción de plantas solares

Aunque en este TEG no se propone la creación de una empresa de instalación como tal sino la evaluación de proyectos de granjas solares, para poder realizar dicho estudio, un mínimo de personal es necesario, el cual se puede comparar con el tipo de empresas que realiza instalaciones de este tipo, porque los mismos especialistas que realizan la construcción tienen el perfil profesional que se necesitaría para llevar a cabo el estudio.

Tomando esto en consideración, el TEG se basó en un modelo organizacional como el presentado en la corporación ENDE Guaracachi, los cuales

incluyen una Alta Gerencia que funciona como el brazo ejecutivo de la empresa, que se apoya en una Junta de Accionistas y un Directorio que da instrucciones a una Gerencia General funcionando en paralelo con una Unidad de Auditoría Interna.

Por debajo de esto se encuentra una Unidad de Transparencia, un Departamento Legal y un especialista en Tecnología de la Información. Finalmente, el organigrama culmina con cinco departamentos que funcionan en paralelo: Gerencia de Negocios, Gerencia de Proyectos y Desarrollo, Gerencia de Administración y Finanzas, Gerencia de Operaciones y Gerencia de Mantenimiento. Todo esto se muestra en la Figura 3.2 que gráficamente expone este mismo concepto.

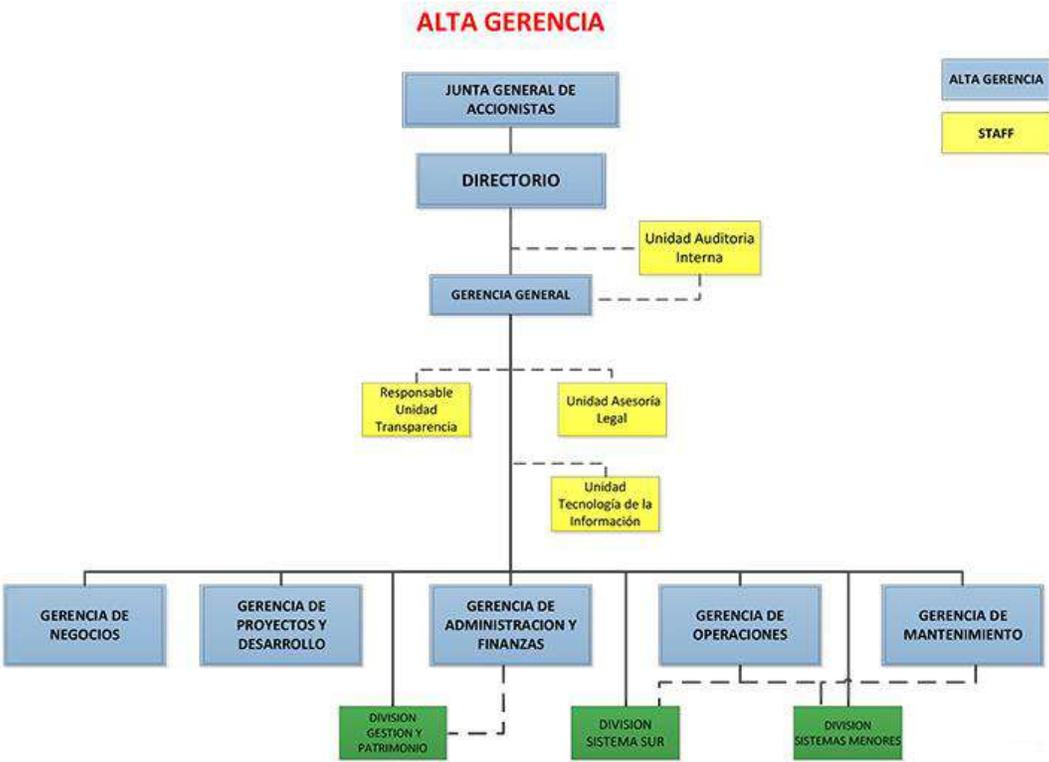


Figura 3.2, Estructura Organizacional de una empresa modelo de instalación de plantas solares

Fuente: Corporación ENDE, 2019

3.2 CONTEXTO VENEZOLANO

Como se mencionó anteriormente, Venezuela es un país tropical situado muy cerca del Ecuador, por lo que las condiciones ambientales para el aprovechamiento de la energía solar son más que propicias, con cantidades de irradiación solar y vientos, en gran nivel, y constantes a través de los años. Sumado a esto están las condiciones climatológicas, que facilitan el desarrollo de estos proyectos.

También se dispone de todas las materias primas requeridas para la fabricación de sistemas PV, y si seguimos la idea de “sembrar petróleo”, a su vez, disponemos de los recursos económicos producto de la renta petrolera para la inversión en este tipo de tecnologías.

Par ejemplo, dentro de la misma industria de hidrocarburos, tras la separación del petróleo, se produce como un derivado de dicho proceso, “el venadio, que, en forma de planchas de vidrio, funciona como una capa semiconductor fotovoltaica, útil para generar energía eléctrica” (Diario El Panorama, 2018, párr. 59), su abundancia es profusa dentro de los procesos que ya se llevan a cabo en nuestra empresa de hidrocarburos.

Además de esto tenemos una realidad que nos impulsa, en la que el potencial hidrológico nacional ha sido aprovechado en su inmensa mayoría, sobretudo en el bajo Caroní, lo cual presenta una necesidad si la demanda energética nacional se expande a la mano del crecimiento industrial y comercial.

De ser aplicada esta tecnología, “se deben realizar las mediciones para preparar los mapas de radiación solar, así como los mapas detallados de aplicación de tecnología solar fotovoltaica y térmica” (Diario El Panorama, 2018, párr. 62), para empezar proyectos de baja escala que permitan obtener la experiencia necesaria hacia el desarrollo de grandes granjas solares.

Pocos de estos estudios se han realizado internamente por instituciones universitarias, por ejemplo, existe una publicación de la Universidad de Los Andes

en el 2013, titulado “estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica”, donde se concluye que Venezuela

“...posee un potencial de energía solar factible de aprovechamiento, con valores superiores a 5.1 kWh/m² día, en una extensión aproximada de 205.921,6 km² (20% del territorio) ... principalmente hacia la franja costera norte e insular, pueden catalogarse de excelentes a supremas como fuente de energía solar aprovechable según estándares internacionales...” (p. 35)

Dentro de ese estudio se presenta la figura 3.2, el cual es un mapa de incidencia de radiación solar sobre la superficie del territorio venezolano realizado por el servicio de meteorología de la aviación venezolana.

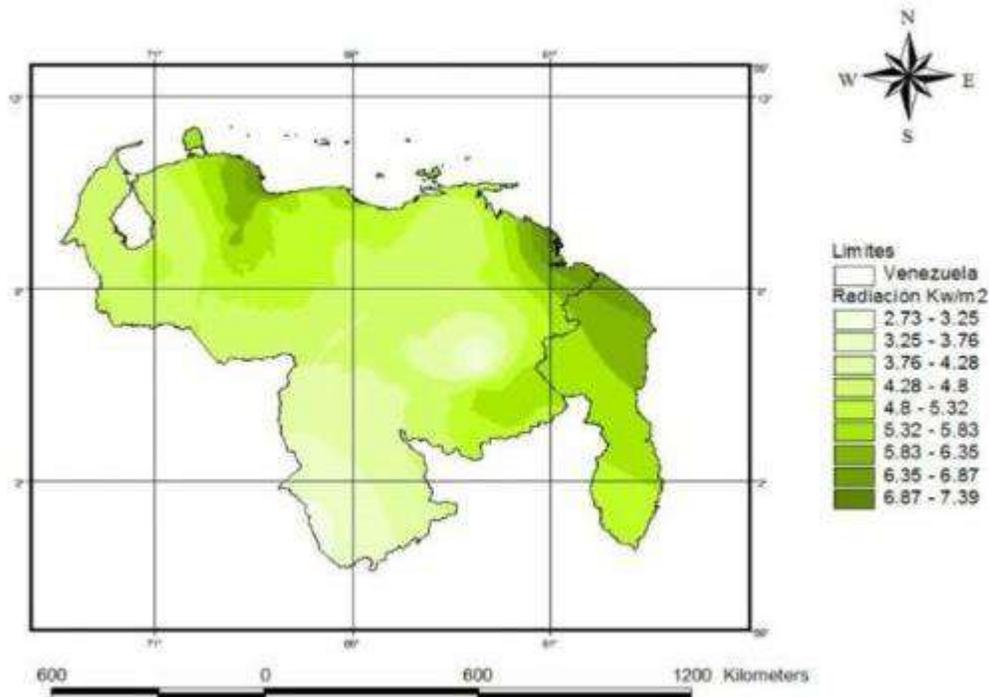


Figura 3.3 mapa de incidencia de radiación solar sobre la superficie del territorio venezolano

Fuente: Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica (2013), por: Posso y otros, p. 63

De todo esto podemos concluir que Venezuela podría jugar un papel protagónico dentro del campo de desarrollo y aplicación de fuentes de energía solar

sustentable, ya que presenta las condiciones medioambientales y económicas propicias para su aplicación, entonces es un asunto de interés sobre posibilidades, y con los eventos de marzo de 2019 en el país, casi que se podría mencionar como una responsabilidad

Contrario a esto, Daniel Moll (2017), representante de Solinar, una empresa de paneles solares venezolana, expone que, por los momentos, en Venezuela aún no es posible la masificación de la tecnología PV, no sólo debido a los costos y el nivel de tensión generada por estos, sino porque ya se han destinado inversiones en el desarrollo de la energía hidroeléctrica, en la cual nuestro país tiene experiencia acumulada.

Por otro lado, si lo estudiamos desde su practicidad, en Venezuela, la energía solar, es una alternativa donde la red convencional no llega, y para sistemas que requieren de confiabilidad para su funcionamiento, como los hospitales o la iluminación de fincas, e incluso, en su forma termosolar, se puede usar como calentadores solares, que como Caldera menciona en un artículo periodístico en el portal web <https://www.desdelaplaza.com>: “lo que ayudaría a reducir el consumo de energía en el hogar en un 60% a 70% reduciendo la presente sobrecarga del sistema”. (Energía Solar en Venezuela: Mitos, verdades y realidades, 2016, párr. 9)

3.3 PRODUCTO O SERVICIO

El objetivo de esta investigación es la del desarrollo de un proceso que arroje un índice que ayude a calcular la eficacia de un proyecto de granja solar en cualquier lugar del mundo de acuerdo a una serie de variables ecológicas evaluadas por juicios de expertos, por lo cual, el servicio que se ofrece es el de entregar un índice que varía de 0 a 100%, de acuerdo a varios factores que afectan el éxito y viabilidad de un proyecto como este, coordenadas céntricas del terreno, tecnologías, datos meteorológicos y capacidad esperada de la granja.

Este método tiene similitudes con el estudio realizado en marzo del 2017 por Google Inc. al realizar análisis de los techos de casas y edificaciones en diferentes

áreas de Estados Unidos y evaluar la presencia de factores que faciliten la instalación de paneles solares para la alimentación de carga, ya sea directamente de la estructura o para la generación distribuida. La figura 3.2 presenta los resultados gráficos de dicho análisis con las áreas efectivas resaltadas directamente en la estructura.



Figura 3.4 Techos de edificaciones en Houston con condiciones para generación distribuida Solar

Fuente: Google's new sun map will tell you whether your roof needs a solar panel, (2017), Google Inc., por: Mihov

3.4 AUDIENCIA O PÚBLICO CONSUMIDOR

3.4.1 El cliente final

Actualmente, los gobiernos que aplican políticas de expansión de su red eléctrica con granjas solares, tienden a aplicar ITC's (Investment Tax Credits), o excepciones a impuestos a inversiones, como incentivos a construir este tipos de estructuras, que pueden llegar incluso al 30%, con beneficios crediticios, ya que cada dólar que el ciudadano común invierta en una fuente de generación privada

conectada a la red, es un dólar que el gobierno central no necesita invertir en generación distribuida, al mismo tiempo que mejora la fortaleza de la red de distribución nacional.

MACRS o Modified Accelerated Cost Recovery Systems, es otra manera en la que el ciudadano común se beneficia de la inversión en granjas solares. Es un método para calcular la depreciación de dichos modelos de generación, donde la depreciación se transforma en deducciones a tu impuesto anual, por 5 años seguidos.

3.4.2 Empresas privadas de generación

Las granjas solares privadas liberan capital a otras empresas de generación para mejorar sus procesos y aplicar mejores políticas y tecnologías, de hecho, la organización internacional Green Power Energy, desarrollo Certificados de Energía Solar Renovable, o SRECs en inglés, mediante los cuales, por cada 1000 kilovatios/hora de generación, se obtiene una especie de bono que puede ser vendido a las empresas privadas, los cuales los usan para obtener beneficios del gobierno central.

3.4.3 Gobierno central

Al liberar responsabilidades, el gobierno central puede invertir en otros campos sociales necesarios o incluso reinvertir en la red eléctrica nacional, de manera que se tenga un surplus de energía que se pueda vender a países vecinos, como hacia el Gobierno Venezolano entre los 70s y 90s por el exceso generado en su red nacional con Colombia y Brasil.

3.4.4 Empresa inmobiliaria

En zonas donde existe una granja solar, el valor de la propiedad privada sube drásticamente. Estudios de Green Power Energy han demostrado que por cada 1.000\$ de ahorro en inversiones en la red eléctrica zonal, se obtiene un crecimiento acumulado de 20.000\$ en el área. Además, aquellos conectados a esta fuente de

generación obtienen reducciones de impuestos tanto en zonas residenciales como industriales, lo cual estimula a la inversión y crecimiento comercial.

3.4.5 Organizaciones Urbanistas y de Planificación

Aproximadamente 14 gigawatts de energía solar es suficiente para alimentar 2.3 millones de hogares u oficinas, y eso es el equivalente a 14 plantas de generación por gas natural o quema de carbón en 85% menos espacio, de acuerdo a estudios del gobierno americano en el 2015.

Al mismo tiempo, la generación distribuida en forma de paneles en los techos de hogares y edificios, pueden generar energía en el rango de los kilos, pero en el mismo espacio, en área, las granjas solares son más eficientes, llegando a rangos mega.

3.4.6 Economía regional

Debido a los incentivos económicos directos del gobierno, organismos internacionales y empresas de generación privadas, la inversión en sistemas de generación solar, en especial las granjas, llegan a valores tan bajos que pueden superar el costo por kilovatio/hora de plantas termoeléctricas, tan bajo como 4 centavos de dólar por kilovatio/hora en algunas regiones.

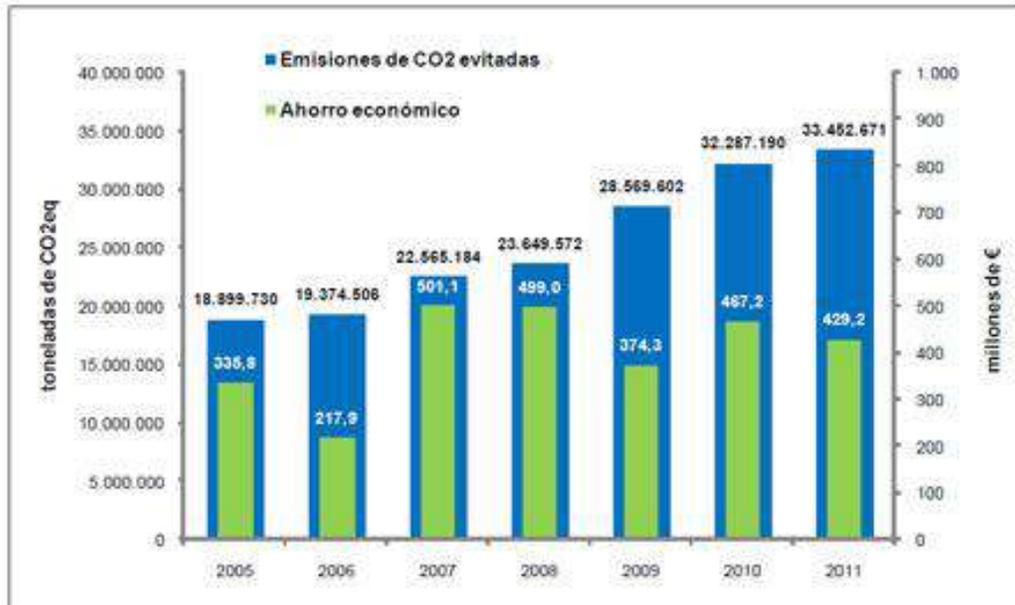
El costo de inversión versus el costo de oportunidad se ha vuelto tan bajo que empresas no relacionadas con la generación eléctrica se han interesado en invertir y beneficiarse de esta utilidad. Empresas como Apple, se han vuelto generadoras de energía eléctrica al equipar todas sus plantas y centros de servidores con paneles solares, sirviendo como granjas pequeñas de generación solar.

3.5 CONTEXTO ÉTICO

3.5.1 Importaciones de combustibles y emisiones evitadas

La generación de energía producto de fuentes renovables evito más emisiones de CO₂ que en el 2011 y 2010 que en años pasados. Para ponerlo en

contexto, en el 2011 se evitó la emisión de 33,4 millones de toneladas de CO₂ que económicamente equivale a un ahorro total de 429 millones de euros en España. De hecho, en la gráfica 3.1 podemos observar como no sólo se reduce la emisión de gases contaminantes a una atmósfera debilitada por el calentamiento global, sino que esto se transforma directamente en un ahorro económico que puede ser reinvertido directamente en la sociedad.



Gráfica 3.1 Ahorro Económico y Emisiones de Gases contaminantes reducidas por aplicación de fuentes de generación renovables

Fuente: Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España en 2011, (2011), por: Villarig y Margarit

Las energías limpias también evitaron la emisión de otros gases, quizá menos conocidos, pero más nocivos para la salud. En 2011, se evitó la emisión de 27,6 millones de toneladas de NO_x y 45,3 millones de toneladas de SO₂. (Villarig y Margarit, 2011)

3.5.2 Objetivos de las energías renovables

En lo referente a los objetivos marcados por tecnologías en el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010, las tecnologías solares excedieron dichas

metas ampliamente, cumpliendo con responsabilidades internacionales de los organismos mencionados en el capítulo 2 de este documento, lo cual no sólo ayuda al país dueño de la compañía, sino a sus vecinos, mejorando la calidad ecológica de la zona. En la Tabla 3.2 podemos ver cuál era la meta para el 2011.

	Objetivos PER 2005-2010	Situación en 2011	Diferencial
Consumo de energía primaria abastecido por renovables (%)	12,1%	11,6%	-0,5%
Renovables S/Consumo bruto de electricidad (%)	30,3%	29,7%	-0,6%
Consumo de biocarburantes en términos energéticos	5,83%	6,08%	0,3%
Emisiones de CO2 evitadas (totales) - tCO2eq	24.556.251	36.076.385	11.520.134

Tabla 3.2 Objetivos del PER para el 2011

Fuente: Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España en 2011, (2011), por: Villarig y Margarit

Pero cada año se está haciendo más difícil cumplir con los objetivos internacionales planteados por el PER, debido a que los cambios del precio del combustible fósil no incentivan la inversión en proyectos renovables, pero sigue siendo responsabilidad de las naciones cumplir con las metas anuales.

Según la senda de implantación de renovables del PER 2011-2020, ninguna tecnología ha alcanzado la potencia instalada prevista para 2011. Hay un retraso generalizado en todas las tecnologías térmicas, eléctricas o de transporte. El único objetivo que se está cumpliendo es el porcentaje de consumo de energía final bruto, 15,9% sobre un 14,7% para 2011, y se requiere, ya sea ética o moralmente, el desarrollo de investigaciones y la aplicación de tecnologías para lograrlo. (Villarig y Margarit, 2011)

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este documento tiene como objetivo realizar un estudio documental de las variables medioambientales involucradas en el proceso de desarrollo de un proyecto de construcción de granjas solares.

Por definición, este será un estudio cuantitativo, ya que estamos buscando la relación entre variables principales implicadas en los procesos. En el estudio se utiliza como principal herramienta de recolección de información la observación sistemática o documental, diseñando rejillas de observación (Anguera, 2003), diseñadas Ad Hoc por el investigador.

De acuerdo al párrafo anterior del tipo estudio documental, según María Teresa Anguera, implica una investigación aplicada, el cual puede ser clasificado como cualitativo o cuantitativo, que en este caso será cuantitativa, con la aplicación de entrevistas, análisis de contenido o estudio de casos (la metodología de esta investigación sería de estudio de casos), utilizando la recolección de datos con su posterior análisis (Anguera, 1986).

4.2 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Para esta sección es importante mencionar que existe una ventaja sobre la cual el estudio se apoya, y esta es que todas estas variables ya han sido medidas anteriormente por otros estudios o especialistas, así que lo que se busca es reunir todo esto en un índice que las tipifique a todas, de una manera superficial, es decir en sus efectos directos sobre la planificación de un proyecto de granja solares y no todos sus efectos colaterales, y así se simplifique un estudio que pueda ser repetido fácilmente cambiando coordenadas en el proceso de planificación.

De acuerdo con esto y siguiendo las premisas de los objetivos específicos, se concentraron las investigaciones bajo las variables ecológicas siguiendo tres preceptos:

- Las condiciones ecológicas, las cuales nos llevan a buscar maneras de obtener resultados de la factibilidad ecológica considerando las condiciones ambientales propias de la zona y las que se pueden manipular.
- Las características tecnológicas, que afectan la consideración espacial o requisitos ambientales, evaluados por publicaciones de data por expertos en el área de construcción y mantenimiento de granjas solares cuando los recursos naturales son limitados y hay más requisitos que libertades en el proceso de planificación de plantas solares
- El entorno medioambiental, que definen el grado de eficiencia y optimización de un proyecto de construcción de granjas solares durante su conceptualización.

Cada una de estas secciones (variables) se dividen en variables dependientes que modifican su valor y causa susceptibilidades en la conceptualización de la granja. Estudiando cada variable de manera individual tenemos un cuadro de operacionalización de variables presentado de la siguiente manera con hipótesis basadas en los objetivos específicos mencionados anteriormente en este documento:

Hipótesis 1: Los incentivos económicos, que tienen efectos en las variables ambientales, propuestos por agencias estatales, son más determinantes durante el proceso de conceptualización de un proyecto de granja solar que las condiciones ambientales climáticas o las características tecnológicas asociadas al espacio físico usado, porque compensan las cadencias de estas dos.

Para poder representar esta hipótesis, la tabla 4.1 describe la operacionalización de la variable asociada a los incentivos económicos que afectan las condiciones ambientales, en la cual se concentran las variaciones por el uso de la tierra, la remoción de la vegetación circundante, las designaciones ambientales

por motivos de fauna o flora protegida por la ley y los caminos presentes o no para el acceso al terreno designado como interés del proyecto.

Variable	Dimensiones	Indicadores
Condiciones Económicas	1. Uso de la Tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar tierras no aptas para el cultivo • Re-clasificación del terreno, si es necesario • Costo de remoción de vegetación • Ingresos por pastoreo
	2. Designaciones del Medioambiente	<ul style="list-style-type: none"> • No trabajar en zonas con especies en peligro de extinción • Necesidad de relocalización involuntaria • Impacto medioambiental
	3. Accesibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Rutas de acceso abiertas o de fácil rastreo

Tabla 4.1 Operacionalización de las Condiciones Económicas

Fuente: El Autor, 2019

Hipótesis 2: Las características tecnológicas, asociadas al espacio físico a estudiar como localización de la granja solar, si se adaptan correctamente al proyecto, son suficientes para compensar costos por condiciones económicas-ambientales desfavorables y un medioambiente hostil.

Para poder representar esta hipótesis, la tabla 4.2 describe la operacionalización de la variable asociada a las características tecnológicas, asociadas al espacio físico, en la cual se concentran las variaciones por el tamaño del terreno, las características físicas de la vegetación cercana, y las condiciones del recurso hídrico asignado al área.

Variable	Dimensiones	Indicadores
Características Tecnológicas	1. Área Disponible	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio total en hectáreas por kW por tipo de tecnología seleccionada • Vegetación cercana sin sombreado sobre los paneles
	2. Acceso a fuentes de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de agua disponible por m²

Tabla 4.2 Operacionalización de las Características Tecnológicas

Fuente: El Autor, 2019

Hipótesis 3: El entorno medioambiental, independiente de las condiciones económicas y las características técnicas, define el grado de eficiencia y optimización de un proyecto de granja solar, individualmente, y es primordial para su conceptualización.

Para poder representar esta hipótesis, la tabla 4.3 describe la operacionalización de la variable asociada al entorno medioambiental, en la cual se concentran las variaciones por el recurso solar disponible, las condiciones del clima en la localización seleccionada, la topografía del terreno, las características del suelo y los efectos de la fauna sobre el sombreado o suciedad en las celdas.

Variable	Dimensiones	Indicadores
Entorno Medioambiental	1. Recursos Solares	<ul style="list-style-type: none"> • GTI • Porcentaje de sombreado sobre paneles • Posicionamiento sin épocas oscuras
	2. Clima Local	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de Inundaciones • Velocidad del viento • Días de nieve al año • Máximos Metros de nieve • Temperatura promedio anual • Distancia a fuentes de contaminación aérea • Distancia a costa marina • Pluviosidad anual
	3. Topografía	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie Plana • Costos de adaptar estructuras a terreno
	4. Condiciones Geotécnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel freático de la zona • Resistividad del suelo • Propiedades de soporte de peso • Presencia de obstrucciones o rocas • pH del terreno, y composición química del suelo • Nivel de contaminación presente en el terreno
	5. Cobertura Modular con contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de partículas de polvo • Presencia de Excremento aviar

Tabla 4.3 Operacionalización del Entorno Ambiental

Fuente: El Autor, 2019

4.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Cuando hablamos de diseño de la investigación nos referimos al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea recolectar (Hernández, Fernández y Baptista, 2003). Pero existen diferentes tipos de diseño, y se tiene que elegir el correcto para el tipo de estudio que se va a realizar en el desarrollo de este documento.

Hernández et al, (2003), clasifica el diseño de investigación en experimental y no experimental. Para este trabajo de grado el tipo de diseño será el no experimental, que según Sampieri (2003), se define como la investigación que se

realiza sin manipular variables y en donde sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para luego analizarlos.

El diseño no experimental se divide tomando en cuenta el tiempo durante el cual se recolectan los datos en transversal y longitudinal. Debido a que los datos en este caso serán recolectados en un solo momento, en un tiempo único y su propósito es describir las variables asociadas y su incidencia de interrelación en un momento dado, se definirá este estudio como transversal (Sampieri, 2003).

Para llevar a cabo la investigación documental no experimental transversal, se siguieron las siguientes fases del proceso de estudio:

4.3.1 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Fase	Nombre de la Fase / detalles
1	Recopilación de la bibliografía: planificación y en organización de la información para el Benchmarking
	¿Cómo es el proceso de construcción de una planta solar?
	¿Cómo se elige el lugar donde se planifica una planta solar?
	¿Cuáles son las características que debe tener el terreno a considerar?
	Efectos de la longitud y latitud y la altura en una instalación PV
	¿Cómo afecta el ángulo de inclinación de los paneles en su funcionamiento?
	¿Cuáles variables relacionadas a los recursos naturales afectan el posicionamiento de una granja solar?
	¿Cuáles son los efectos de la radiación solar, el clima y la fauna sobre la planificación de un proyecto solar?
	¿Cómo afecta la tecnología seleccionada a la planificación del proyecto?
	Aspectos económicos que forman parte de la planificación de una planta solar
2	Estudio de Antecedentes y construcción del código de minería de datos para el análisis de la información masiva
	Investigaciones y publicaciones sobre construcciones de plantas solares
	Manuales existentes sobre planificación de granjas solares
	Antecedentes legales nacionales
	Antecedentes legales internacionales
	Construcción de un código de minería de datos
	Minería de datos de redes sociales
	Minería de datos de publicaciones en Google Academics
3	Desarrollo
	Análisis y resumen de la información recolectada
	Comparación con la bibliografía consultada: primera fase del benchmarking
	Desarrollo del checklist de evaluación de la planificación del proyecto solar
	Análisis de los datos a través de la técnica de Benchmarking
	Desarrollo del indicador de viabilidad
	Propuesta de fórmula de cálculo
4	Análisis de Resultados
	Propuesta de plantas en California, USA, para aplicación del proceso presentado en la fase de Desarrollo
	Evaluación de las 4 plantas por los checklists
	Aplicación del indicador de Viabilidad para las 4 plantas
	Presentación de los resultados en forma gráfica
5	Conclusión

Tabla 4.4 Fases de la Investigación

Fuente: El Autor, 2019

4.4 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN

Para la recolección de la data se usó un proceso de minería de base de datos desde varios sitios de Internet, profesionales y sociales, de manera que se tenga un “juicio de expertos” lo suficientemente variado para poder alimentar la ponderación del Benchmarking.

La combinación o presencia en diferente medida de cada variable ha sido discutida y ponderada por expertos en el área y este estudio busca definir, cual es el orden de prioridad que guía el proceso de construcción, de manera que, si se cumplen una serie de indicadores como positivos, entonces podría considerarse el proyecto como una granja con potencial éxito o si es necesario reconsiderar alguno de los puntos que rodean el proceso.

Durante la fase de recolección de datos se utilizó una mezcla de herramientas, empezando por un programa escrito por el autor de este trabajo para descargar data de twitter sobre diferentes tópicos, adaptada para otros lugares, y lectura de material bibliográfico de diferentes autores sobre sus recomendaciones en la conceptualización del diseño de granjas solares.

Posteriormente se utilizaron tablas de frecuencia sobre la data recolectada de la manera que se mencionará en la sección de interpretación de datos.

4.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Como se mencionó anteriormente, este estudio se apoyó en el análisis y la estadística descriptiva, se descargaron los resultados en archivos de tipo CSV (archivos separados por coma), para facilitar su almacenamiento, luego se procesaron a través de Microsoft Excel, con el uso de tablas de frecuencia para demostrar las categorías temáticas (o variables) mencionadas anteriormente. De acuerdo con la repetición de comportamiento dentro de una de las tres variables, se categorizó mediante repetición, el orden propuesto de prioridad bajo esta investigación.

4.6 FORMULACIÓN EL CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO (EDT)

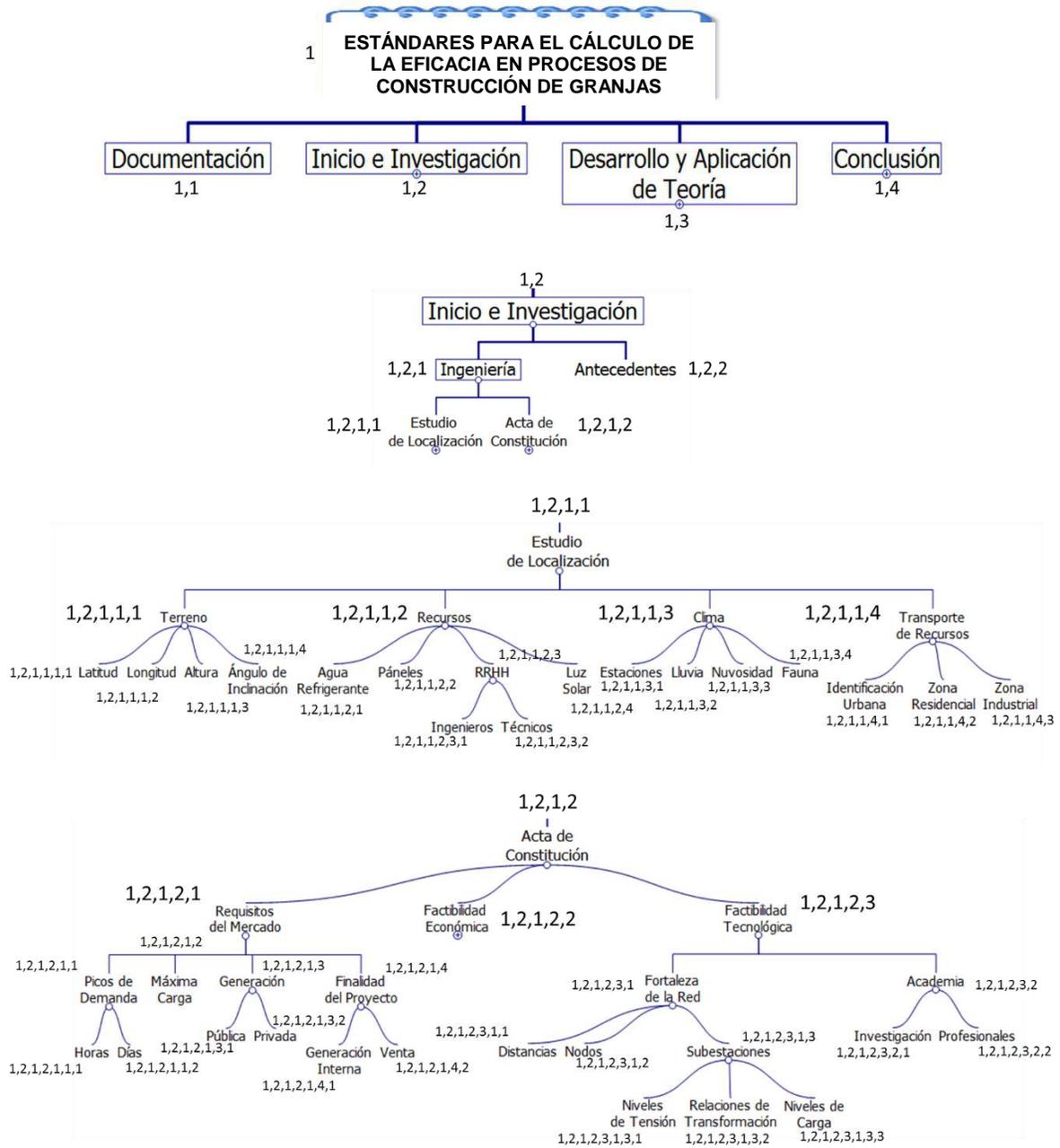


Figura 4.1 EDT Parte 1
Fuente: El Autor, 2019

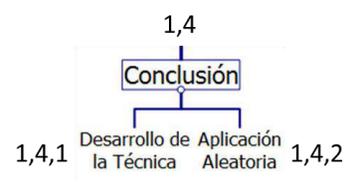
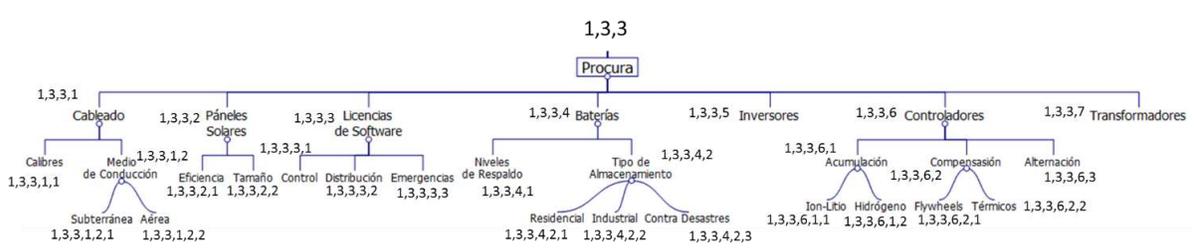
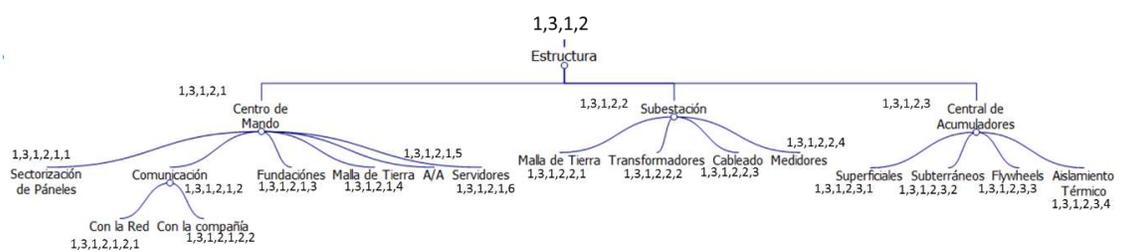
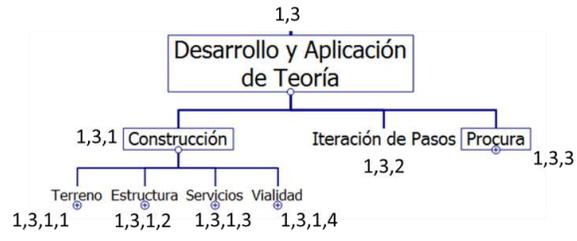
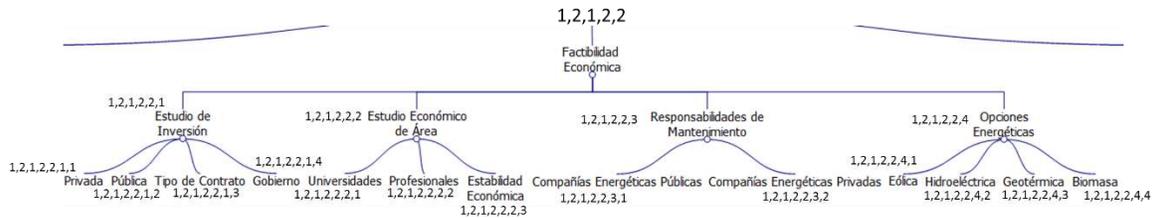


Figura 4.2 EDT Parte 2
Fuente: El Autor, 2019

CAPÍTULO V. DESARROLLO

5.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

Inicialmente se utilizó minería de datos de bajo nivel para obtener información sobre proyectos de construcción de granjas solares a través de diferentes medios sociales y científicos, una muestra de esto puede verse en los anexos, en la tabla 2. Al mismo tiempo, a través de diferentes bibliografías, en tesis, publicaciones y libros, se obtuvo la opinión profesional de expertos del área de tecnologías PV, en proyectos culminados o conceptualizados de granjas solares, comenzando con los trabajos mencionados en la sección de antecedentes.

Se hizo una lista de requisitos, siguiendo las variables mencionadas en la sección de operacionalización, basados en los procesos recomendados por el IFC, y se le asigna a cada elemento un comportamiento booleano (binario), de cumplimiento o carencia, por cada cumplimiento en cada área se suma un punto, para un total por sección ponderado sobre 100%, luego se hace un benchmarking con las recomendaciones de prioridad de varios expertos y el resultado de la minería de base de datos, el índice producto de este estudio, representará el porcentaje de eficiencia y eficacia de un proyecto solar en conceptualización.

Se utilizaron los procesos de la IFC como base, de acuerdo a la opinión de un cuerpo de expertos en el área de planificación de proyectos solares: el grupo FARO Energy, que mencionan, a través de Lauren Inouye y su CEO Sarah Chapman a este manual como una reseña de errores comunes de construcción, términos típicos para referirse a los procesos de contratos EPC y O&M y un anexo sobre sus aspectos técnicos... Esta guía es un recurso excelente e Iwana invita a sus colegas a usarla como referencia (Iwana, 2018). Y al mismo tiempo, la organización internacional World Bank la menciona como una guía que provee información sobre cómo llevar un proyecto PV de una manera económica y confiable, de manera que se pueda promover la energía renovable a lugares de

pobreza extrema y así estimular acciones que logren prosperidad en esas zonas. (Lumby, 2015)

5.1.1 Etapa de Concepto

Se denomina etapa de concepto a la primera discusión de un equipo de trabajo, incluyendo todos los entes involucrados o stakeholders, cuando se está planteando la idea de desarrollo de un proyecto solar, es la etapa más superficial, los elementos no son críticos para que una granja pueda ser construida pero cada punto positivo facilita que el proyecto se pueda completar. En la tabla 5.1 se incluyen 7 puntos booleanos que deben ser discutidos por los interesados. Una vez debatidos y evaluados, se pasa a la próxima etapa, conocida como estudio de “pre-factibilidad”.

Lista de Verificación de Concepto de Proyecto	
<input type="checkbox"/>	La estructura del proyecto se encuentra delimitada
<input type="checkbox"/>	Existe un lugar disponible para el estudio de localización del proyecto

Tabla 5.1 Lista de Verificación de Concepto de Proyecto
Fuente: El Autor, 2019

5.1.2 Etapa de Pre-Factibilidad

Incluye elementos clave que deben ser investigados antes de poder iniciar la conceptualización del proyecto, relacionados a data que se debe tener de acceso público o de acceso relativamente fácil, como es costo promedio de m² de terreno en el país, costos de los permisos o licencias, y datos meteorológicos y solares. En la Tabla 5.2 se incluyen 8 puntos que deben ser revisados para evaluar la pre-factibilidad de un proyecto solar para luego pasar a la etapa de factibilidad

Lista de Verificación de Pre-Factibilidad	
<input type="checkbox"/>	Evaluación del lugar deseado para el proyecto con conocimiento de las áreas circundantes, accesos, permisos y restricciones
<input type="checkbox"/>	Diseño conceptual completado incluyendo las opciones tecnológicas a considerar
<input type="checkbox"/>	Se cuenta con un estudio de disponibilidad de energía eléctrica
<input type="checkbox"/>	Principales limitaciones medioambientales identificadas para su posterior estudio
<input type="checkbox"/>	Investigación sobre regulaciones medioambientales presentes y futuras
<input type="checkbox"/>	Identificación de los retos ambientales del proyecto con soluciones propuestas
<input type="checkbox"/>	Identificación de los costos de permisos y licencias
<input type="checkbox"/>	Línea de tiempo preliminar completada con hitos del proyecto

Tabla 5.2 Lista de Verificación de Pre-Factibilidad

Fuente: El Autor, 2019

5.1.3 Etapa de Factibilidad

Ya contando con los datos de Pre-factibilidad, se busca concretar los conceptos ambiguos y tener la información directamente adaptada a los requisitos del proyecto, en la etapa de factibilidad, se sintetizan estos datos y se busca, en 6 puntos específicos completar la recolección de data y acercar el estudio a valores más cercanos a la realidad. En la tabla 5.3 tenemos estos quince puntos a revisar.

Lista de Verificación de Factibilidad	
<input type="checkbox"/>	Plan de localización detallado
<input type="checkbox"/>	Recurso solar estudiado incluyendo los porcentajes de sombreado
<input type="checkbox"/>	Identificación de las características medioambientales que podrían afectar directamente la funcionabilidad de la granja solar
<input type="checkbox"/>	Estudio detallado de las consideraciones medioambientales y sociales involucradas
<input type="checkbox"/>	Evaluación de la energía solar disponible completada
<input type="checkbox"/>	Acuerdos de opciones para accesibilidad al terreno sin afectar el medio ambiente circúndate

Tabla 5.3 Lista de Verificación de Factibilidad

Fuente: El Autor, 2019

5.1.4 Financiamiento, Permisos y Contratos

Aunque hay cierto debate entre los diferentes expertos, entre si el financiamiento, los recursos naturales o la tecnología son prioritarios uno sobre otro, para el estudio financiero del proyecto, se propone por el IFC una lista de elementos que deben ser revisados para asegurar que se cuenta con toda la normativa legal y los requisitos financieros para lograr una conceptualización de un proyecto solar exitoso, esos puntos se dividen en 3 y son presentados en la tabla 5.4.

Lista de Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos	
<input type="checkbox"/>	Evaluación ambiental completada
<input type="checkbox"/>	Análisis de riesgo ambiental del proyecto completado
<input type="checkbox"/>	Todos los accesos a la localización abiertos para el proyecto

Tabla 5.4 Lista de Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos

Fuente: El Autor, 2019

5.1.5 Recurso Solar

Dependiendo de que literatura se consulte, este puede ser un elemento que imposibilite el proyecto, básicamente, no hay energía solar sin sol, y la radiación solar varía de lugar en el globo terrestre, así que, para proyectos de granjas solares, tener un entendimiento de las condiciones de los niveles de recurso solar disponibles en localización escogida es crítico. La tabla 5.5 propone 5 puntos a considerar cuando se está haciendo el estudio de recursos ambientales de cualquier proyecto solar.

Lista de Verificación de Niveles de Recurso Solar	
<input type="checkbox"/>	Dataset de análisis del recurso solar que cubra por lo menos 10 años de recolección de data
<input type="checkbox"/>	Data interpolada con un análisis combinado de investigación satelital y terrestre
<input type="checkbox"/>	Calibración de análisis meteorológico satelital en zonas donde la recolección satelital no es directa
<input type="checkbox"/>	Aplicación de los algoritmos necesarios para convertir la radiación solar horizontal en radiación de ángulo recto a la inclinación de los módulos solares
<input type="checkbox"/>	Análisis detallado de las incertidumbres de la data completado

Tabla 5.5 Lista de Verificación de Niveles de Recurso Solar

Fuente: El Autor, 2019

5.1.6 Potencial energético solar del área

Una vez que se sabe el nivel del recurso solar se debe estudiar la capacidad del proyecto de aprovechar ese recurso, ese es el potencial energético, contando todas las consideraciones técnicas de pérdidas de producción por resistencia en los cables o por eficiencia de los elementos necesarios para la conexión. La tabla 5.6 incluye 10 puntos a evaluar.

Lista de Verificación del Potencial Energético Solar del Área	
<input type="checkbox"/>	Análisis profesional del dataset del recurso solar completado
<input type="checkbox"/>	Perfil de generación por hora desarrollado con estudios o experimental
<input type="checkbox"/>	Información detallada de la capacidad de la planta, inclinación de los módulos, ángulos de sombreado, orientación, número de módulos por fila y total de módulos e inversores
<input type="checkbox"/>	Modelo 3D del sombreado generado con un software de modelado
<input type="checkbox"/>	Modelado 3D de obstáculos que causen sombreado detallado
<input type="checkbox"/>	Pérdidas por resistividad del terreno, lluvias y otras condiciones ambientales calculadas
<input type="checkbox"/>	Características de los módulos identificadas (degradación, eficiencia a baja luz, tolerancia y coeficiente de temperatura)
<input type="checkbox"/>	Ajustes por Incertidumbres de la data del recurso solar
<input type="checkbox"/>	Ajustes por Incertidumbres generales del proyecto

Tabla 5.6 Lista de Verificación del Potencial Energético Solar del Área
Fuente: El Autor, 2019

5.1.7 Criterio de selección del área

Todos los recursos varían básicamente al respecto a una particularidad en específico, la localización. Las coordenadas elegidas para el estudio del proyecto deben ser estudiadas al detalle porque pequeñas variaciones afectan todas las variables mencionadas anteriormente. En la tabla 5.7 se encuentran todos los criterios que se deben revisar al elegir el área donde se va a desarrollar el proyecto.

Lista de Verificación del Área Seleccionada	
<input type="checkbox"/>	Dimensión del área adecuada para el tamaño del proyecto
<input type="checkbox"/>	Propiedad del Área identificada y determinada
<input type="checkbox"/>	Uso actual del área identificada (industrial, agropecuaria, residencial)
<input type="checkbox"/>	Comunicación exitosa con autoridades regulatorias sobre las restricciones ambientales presentes
<input type="checkbox"/>	Estudio del Recurso Solar beneficioso
<input type="checkbox"/>	Características topográficas obtenidas
<input type="checkbox"/>	Proximidad a las designaciones ambientales nacionales e internacionales determinada
<input type="checkbox"/>	Rutas de acceso al área abiertas e indicadas
<input type="checkbox"/>	Encuesta geotécnica completada
<input type="checkbox"/>	Accesibilidad a fuentes de agua subterránea determinada
<input type="checkbox"/>	Riesgos de terreno inestable determinados

Tabla 5.7 Lista de Verificación del Área Seleccionada
Fuente: El Autor, 2019

5.1.8 Criterio de selección de los módulos PV

El elemento técnico primordial de todo sistema fotovoltaicos son los módulos PV. Son los responsables de transformar la radiación solar en energía eléctrica utilizable, pero como cualquier tecnología, hay variaciones en diseño y características, por ejemplo, existen paneles dedicados a zonas marítimas y otros a zonas desérticas, todo depende de los requisitos del proyecto. En la tabla 5.8 se presentan los puntos a considerar cuando se está seleccionando un sistema PV para un proyecto solar.

Lista de Verificación de Selección de Módulos PV	
<input type="checkbox"/>	Identificación de los datos y record del distribuidor
<input type="checkbox"/>	PV con certificación mínima obtenida, sin elementos corrosivos
<input type="checkbox"/>	Tecnología adaptada o adecuada para las condiciones ambientales de la zona seleccionada

Tabla 5.8 Lista de Verificación de Selección de Módulos PV
Fuente: El Autor, 2019

5.2 BENCHMARKING DE LA PRIORIDAD DE LAS VARIABLES

Para esta sección se tomaron en cuenta parámetros que afectan la exactitud de la data, a fin de lograr una prioridad que permita lograr un índice de viabilidad de la granja solar, acorde a los estudios y tendencias actuales sobre la materia.

En primer lugar, se tomaron en consideración cinco textos de referencia como material bibliográfico, algunos de los cuales se mencionan en la sección de antecedentes, los cuales refieren argumentos para alimentar el estudio de benchmarking. En segundo lugar, se tomaron en cuenta los resultados de la minería de data de recursos web, se analizaron los resultados de las redes sociales profesionales a través de “*keywords*”, y en tercer lugar se aplicó minería a la data obtenida del GoogleScholar al incluir en la búsqueda la frase: “*what's more important in solar farm design*”.

Los investigadores plantean que “para poder introducir y ajustar las técnicas de la tecnología solar fotovoltaica se necesitan identificar las necesidades del mercado y desarrollar una estrategia y objetivos de conceptualización mediante estudios de pre-factibilidad y factibilidad técnico-económica” (Guzmán, Soto, Águila y Torres, 2017)

De la bibliografía referida en la investigación realizada para llevar a cabo este TEG, tenemos los siguientes referentes:

1. La ingeniera Cilveti, en su tesis “Proceso de creación de una planta solar PV conectada a la red”, menciona en varias ocasiones lo importante que fue para la selección del lugar en Cataluña las condiciones ambientales, seguido por la tecnología a usar, con muy poca discusión sobre las ventajas económicas locales para el proyecto. Es decir, su orden de prioridad es el siguiente: Condiciones Ambientales > Tecnología Seleccionada > Ventajas Económicas
2. Para Susan Neil, Geoff Stapleton y Christopher Martel, en su trabajo “Solar Farms: the Earthscan expert guide to design and construction of Utility-

Scale PV Systems”, hacen un fuerte énfasis en lo necesario que es tener incentivos financieros y un modelo empresarial antes de poder tomar cualquier decisión en un proyecto de granjas solares, y que de allí se derivaría la selección de tecnología, de acuerdo a las condiciones ambientales presentes, para disminuir costos. Es decir, su orden de prioridad es el siguiente: Ventajas Económicas > Condiciones Ambientales > Tecnología Seleccionada

3. La IFC en su libro “Utility-Scale Solar PV power plants” mencionan en un estudio muy detallado del diseño y manejo de granjas solares lo importante que es que las condiciones financieras sean las adecuadas para mantener el proyecto a flote, de hecho, una de las prioridades para si quiera considerar el inicio del estudio es que un incentivo económico compense una limitación por tecnología o ambiental, colocando a esta última como segundo limitador. Es decir, su orden de prioridad es el siguiente: Ventajas Económicas > Condiciones Ambientales > Tecnología Seleccionada
4. Ghiassi-Farrokhfal, Y., Kazhamiaka, F., Rosenberg y C., Keshav S. en su publicación “Optimal Design of Solar PV Farms with Storage”, exponen lo importante que es para el diseño de cualquier proyecto solar que la tecnología sea la adecuada, incluso proponen que hay herramientas que la tecnología ofrece para compensar limitaciones ambientales, siempre y cuando las finanzas del proyecto lo permitan. Es decir, su orden de prioridad es el siguiente: Tecnología Seleccionada > Ventajas Económicas > Condiciones Ambientales
5. Amin, Ibrahim, Farid, Bourennani, Shahryar, Rahnamayan, Greg F. Naterer, en su paper “Optimal Photovoltaic System Design with Multi-Objective Optimization”, presentan la propuesta que es el ambiente el que va a delimitar no solo cuales van a ser las ganancias del proyecto, sino también que tecnología se va a usar, colocando a la combinación del

entorno y la tecnología por encima de las finanzas. Es decir, su orden de prioridad es el siguiente: Condiciones Ambientales > Tecnología Seleccionada > Ventajas Económicas.

Del análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

REFERENTE 1	REFERENTE 2	REFERENTE 3	REFERENTE 4	REFERENTE 5
Condiciones Ambientales	Ventajas Económicas	Ventajas Económicas	Tecnología Seleccionada	Condiciones Ambientales
Tecnología Seleccionada	Condiciones Ambientales	Condiciones Ambientales	Ventajas Económicas	Tecnología Seleccionada
Ventajas Económicas	Tecnología Seleccionada	Tecnología Seleccionada	Condiciones Ambientales	Ventajas Económicas

Tabla 5.9 Resultados Benchmarking de las bibliografías (referentes)

Fuente: El Autor, 2019

De acuerdo con esto, se procede a marcar la prioridad de “condiciones ambientales” que es el referente que se toma en cuenta para análisis en este TEG.

Seguidamente, de los resultados de la aplicación del código de minería de data a las redes sociales profesionales, se obtuvo como resultado que, teniendo la tecnología y el medio ambiente adecuados para la producción, las granjas solares serán lo suficientemente rentables como para compensar, por una parte, las limitaciones tecnológicas y por la otra, la falta de incentivos financieros, es decir, el resultado del Benchmarking es el siguiente:

Lugar	Redes Sociales
1	Tecnología Seleccionada
2	Condiciones Ambientales
3	Ventajas Económicas

Tabla 5.10 Resultados Benchmarking de las Redes Sociales

Fuente: El Autor, 2019

Finalmente, se aplica la minería de data en el GoogleScholar al incluir en la búsqueda la frase: “*what's more important in solar farm design*”, se obtiene como resultado una conclusión similar al análisis de las referencias (bibliografía), con la distinción de que en este caso el ambiente afecta y refiere la tecnología que se debe usar en la Granja Solar; de tal forma que pueda compensarse la falta de incentivos económicos por parte de los interesados, a continuación los resultados:

Lugar	GoogleScholar
1	Condiciones Ambientales
2	Tecnología Seleccionada
3	Ventajas Económicas

Tabla 5.11 Resultados Benchmarking de GoogleScholar
Fuente: El Autor, 2019

Tomando los resultados obtenidos, se obtiene como resultado que las condiciones ambientales es la variable más importante a considerar, seguido por la tecnología seleccionada y finalmente las ventajas económicas, tal como se muestra en la tabla a continuación:

Variable	Condiciones Ambientales	%	Tecnología Seleccionada	%	Ventajas Económicas	%
1ra posición	3	43%	2	29%	2	29%
2da posición	3	43%	3	43%	1	14%
3ra posición	1	14%	2	29%	4	57%
	7	100%	7	100%	7	100%

Tabla 5.12 Ponderación de Resultados
Fuente: El Autor, 2019

El benchmarking quedaría evaluado en la tabla 5.13, donde el “juicio de expertos” como resultado del estudio de la bibliografía, la aplicación de minería a la data de las redes sociales y al GoogleScholar, se obtiene la ponderación de cada uno de los estudios, tal como se muestra en la tabla a continuación:

Estudio	Concepto	Pre-Factibilidad	Factibilidad	Financiamiento, permisos y contratos	Recurso Solar	Potencial Energético del Área	Selección del área	Selección de Módulos PV	Total	Ponderación
Concepto	1	1	1	1	-	-	-	-	4	4/36
Pre-Factibilidad	-	1	1	1	-	-	-	-	3	3/36
Factibilidad	-	-	1	1	-	-	-	-	2	3/36
Financiamiento, permisos y contratos	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1/36
Recurso Solar	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8/36
Potencial Energético del Área	1	1	1	1	-	1	1	1	7	7/36
Selección del área	1	1	1	1	-	-	1	1	6	6/36
Selección de Módulos PV	1	1	1	1	-	-	-	1	5	5/36

Tabla 5.13 Benchmarking de Elementos de Viabilidad de Proyectos Solares

Fuente: El Autor, 2019

Como se mencionó anteriormente, cada uno de esos ocho factores se encuentra detallado por el cumplimiento de condiciones booleanas, es decir 1 (verdadero) y 0 (falso), en la tabla se ha colocado el 0 con un signo “-“ para mayor comprensión y visibilidad en la lectura de la tabla.

Finalmente, para el cálculo de la expresión del índice de viabilidad de un proyecto de granja solar, tomando en cuenta las condiciones descritas, con un valor en el rango de 0 a 100% de cumplimiento, lo cual se define como “Puntuación de Factor (P_x)”. Tomando ese P_x de cada elemento y multiplicando por su valor de prioridad (mostrado como Total en el Benchmarking) entonces tenemos la siguiente fórmula, que definirá el índice de viabilidad (I_v) de un proyecto solar:

$$I_v = \frac{4}{36}P_{ec} + \frac{3}{36}P_{pf} + \frac{2}{36}P_{ef} + \frac{1}{36}P_{fpc} + \frac{8}{36}P_{rs} + \frac{7}{36}P_{pe} + \frac{6}{36}P_{sa} + \frac{5}{36}P_{sm}$$

Fórmula (5.01) Índice de Viabilidad

Fuente: El Autor, 2019

En donde:

- P_{ec}, es Puntaje de Etapa de Concepto
- P_{pf}, es Puntaje de Etapa de Pre-Factibilidad
- P_{ef}, es Puntaje de Etapa de Factibilidad
- P_{fpc}, es Puntaje de Etapa de Financiamiento, Permisos y Contratos

- P_{rs} , es Puntaje de Recurso Solar
- P_{pe} , es Puntaje de Potencial Energético del Área
- P_{sa} , es Puntaje de Selección del Área
- P_{sm} , es Puntaje de Selección de Módulos PV

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para comprobar la aplicación del Índice de viabilidad planteado en el capítulo anterior, se utilizaron cinco proyectos de granjas solares en el área de California, USA. “Solar Star”, en Rosamond, California, de 579 MW_{AC}, apoyada por aspectos técnicos de su estudio e información pública sobre surante el proceso de planificación, hasta su finalización en Junio de 2015; Granja Solar Topaz en San Luis Obispo, California, de 550 MW_{AC}, finalizada en Noviembre 2014; Desert Sunlight, en el Desierto de Mojave, California, también de 550 MW_{AC}, finalizada en otoño de 2015, el Rancho Solar Valle California, en las llanuras Carrizo, con una capacidad de 250 MW_{AC}, finalizada en Octubre de 2013, y la fase 1 del proyecto Solar Mount Signal, en Valle Imperial, con una capacidad de 206 MW_{AC}, finalizada en Mayo de 2014.

Las anteriores fueron seleccionadas por ser cinco de los más grandes proyectos de granjas solares, en una zona relativamente homogénea ambientalmente, de compañías contratistas distintas, y bajo las mismas condiciones políticas y sociales, y lo más importante, se poseen los datos de los proyectos que permiten su estudio en este TEG, es información pública a la disposición de los interesados.

A continuación, se muestra el proceso de recolección de data en el mismo orden planteado en la sección de desarrollo del proyecto. Las siguientes tablas presentaran los listados en paralelo de todos los proyectos, con los puntajes en cada área, y cada granja será representada de la siguiente manera:

- **P1:** Solar Star
- **P2:** Topaz
- **P3:** Desert Sunlight
- **P4:** Valle California
- **P5:** Mount Signal

Para las siguientes tablas debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Consideración P1:** El proyecto, aunque sufrió una serie de cambios en su concepción, estaba apoyado y basado en la experiencia de BHE Renewables, la compañía encargada del desarrollo del proyecto, siguiendo pasos similares a anteriores proyectos de generación solar, y se trabajó de la mano con EIA (Administración de Información Energética de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) para asegurar un desarrollo del sector eléctrico en paralelo y así poder adaptarse a esta nueva carga (Wesoff, 2015)
- **Consideración P2:** En conversaciones iniciales, se había discutido un proyecto que cubriría 260 hectáreas de terreno, pero fue cambiado a 25 km² cuando la compañía Ausra cancela el proyecto y lo deja en manos de Berkshire Hathaway.
- **Consideración P3:** este proyecto fue llevado a cabo por un consorcio de compañías eléctricas privadas (NextEra Energy Resources, GE Energy Financial Services y Sumitomo Group) que, a través de un acuerdo de compra de energía, firmado con los representantes de la red eléctrica nacional, comisionaron este desarrollo para ser vendido posteriormente a dicha compañía (Pacific Gas & Electric)
- **Consideración P4:** aunque el proyecto tenía una consideración de espacio inicial de 1966 acres (o 796 ha), un total de 4365 acres (1766 ha) fueron dispuestos para su eventual expansión. El proyecto inició en el 2011, pero apenas estuvo listo el 10% de su capacidad instalada, alrededor de 22 MW_{AC}, en 2012 ya estaba en funcionamiento parcial, y generando ingresos económicos. Fue construida por NRG Solar, bajo los mismos compromisos con la compañía eléctrica nacional, Pacific Gas & Electric, de que después de recuperar la inversión inicial más un porcentaje de ganancia, sería vendida a esta.

- **Consideración P5:** fue llevada a cabo por AES Solar, que inicialmente tuvo muchos problemas durante la conceptualización del proyecto e incluso lo abandonó completamente desde 2010 hasta 2012, cuando las finanzas de la compañía y los avances tecnológicos la hicieron más viable, dividiéndolo en tres etapas, y asociándose con la compañía 8minuteenergy Renewables, al mismo tiempo de firmar un acuerdo de compra de energía con la compañía nacional San Diego Gas & Electric, que es la encargada de la red local.

A continuación se muestran los resultados del Benchmarking, en cada uno de los siguientes atributos para los cinco proyectos:

- Concepto de proyecto (**Ec**)
- Verificación de pre-factibilidad de Proyecto (**Pf**)
- Verificación de Factibilidad de Proyecto (**Ef**)
- Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos (**Fpc**)
- Verificación de Niveles de Recurso Solar (**Rc**)
- Verificación del Potencial Energético Solar del Área (**Pe**)
- Verificación del Área Seleccionada (**Sa**) y,
- Verificación de Selección de Módulos PV (**Sm**)

La tabla, Nro. 6.1 a continuación, se analiza el **concepto de proyecto**, en la que se incluye la evaluación de la disponibilidad para el estudio de la localización del proyecto y la delimitación del alcance:

Benchmarking de Concepto de Proyecto					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			La estructura del proyecto se encuentra delimitada
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existe un lugar disponible para el estudio de localización del proyecto
2/2	1/2	2/2	1/2	1/2	Total
100%	50%	100%	50%	50%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.1 Comparación de la Lista de Verificación de Concepto de Proyecto

Fuente: El Autor, 2019

En la siguiente tabla, 6.2, se muestra la verificación de **pre-factibilidad de proyecto**, la cual incluye el estudio preliminar de las condiciones medioambientales y las regulaciones existentes.

Benchmarking de pre-factibilidad de Proyecto					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación del lugar deseado para el proyecto con conocimiento de las áreas circundantes, accesos, permisos y restricciones
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Diseño conceptual completado incluyendo las opciones tecnológicas a considerar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Se cuenta con un estudio de disponibilidad de energía eléctrica
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Principales limitaciones medioambientales identificadas para su posterior estudio
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Investigación sobre regulaciones medioambientales presentes y futuras
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Identificación de los retos ambientales del proyecto con soluciones propuestas
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			Identificación de los costos de permisos y licencias
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Línea de tiempo preliminar completada con hitos del proyecto
7/8	7/8	5/8	6/8	5/8	Total
87,5%	87,5%	62,5%	75%	62,5%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.2 Comparación de la Lista de Verificación de Pre-Factibilidad

Fuente: El Autor, 2019

La siguiente tabla, 6.3, se muestra la verificación de **factibilidad de proyecto**, la cual incluye las evaluaciones de los efectos medioambientales del estudio de pre-factibilidad, y la planificación de la energía a generar con el recurso solar disponible, ambos factores relevantes en el proceso de planificación tal como se muestra a continuación:

Benchmarking de Factibilidad de Proyecto					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Plan de localización detallado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Recurso solar estudiado incluyendo los porcentajes de sombreado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Identificación de las características medioambientales que podrían afectar directamente la funcionabilidad de la granja solar
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Estudio detallado de las consideraciones medioambientales y sociales involucradas
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		Evaluación de la energía solar disponible completada
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Acuerdos de opciones para accesibilidad al terreno sin afectar el medio ambiente circúndate
3/6	4/6	6/6	4/6	4/6	Total
50%	66,67%	100%	66.67%	66.67%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.3 Comparación de la Lista de Verificación de Factibilidad

Fuente: El Autor, 2019

La siguiente tabla, 6.4, corresponde a la verificación de **Condiciones Financieras, Permisos y Contratos**, la cual incluye el análisis medioambiental completo, el estudio de riesgo de daño ambiental, y la apertura de accesos terrestres, parámetros que permiten conocer el aspecto financiero y regulatorio del proyecto:

Benchmarking de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Evaluación ambiental completada
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Análisis de riesgo ambiental del proyecto completado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Todos los accesos a la localización abiertos para el proyecto
3/3	3/3	1/3	2/3	3/3	Total
100%	100%	33,33%	66,67%	100%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.4 Comparación de la Lista de Verificación de Condiciones Financieras, Permisos y Contratos

Fuente: El Autor, 2019

La siguiente tabla, 6.5, se muestran los resultados de la verificación de los **Niveles de Recurso Solar**, la cual incluye el análisis detallado sobre la radiación solar presente en la zona, de tal forma que la granja solar objeto del proyecto, obtiene en mayor o menor medida el recurso natural prioritario para producir energía.

Benchmarking de Niveles de Recurso Solar					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Dataset de análisis del recurso solar que cubra por lo menos 10 años de recolección de data
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Data interpolada con un análisis combinado de investigación satelital y terrestre
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Calibración de análisis meteorológico satelital en zonas donde la recolección satelital no es directa
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Aplicación de los algoritmos necesarios para convertir la radiación solar horizontal en radiación de ángulo recto a la inclinación de los módulos solares
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Análisis detallado de las incertidumbres de la data completado
5/5	5/5	3/5	5/5	5/5	Total
100%	100%	60%	100%	100%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.5 Comparación de la Lista de Verificación de Niveles de Recurso Solar

Fuente: El Autor, 2019

La siguiente tabla, 6.6, se corresponde con la verificación del **Potencial Energético Solar del Área**, la cual incluye el uso de softwares para el cálculo de sombreado y los efectos del recurso solar sobre el proyecto.

Benchmarking del Potencial Energético Solar del Área					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Análisis profesional del dataset del recurso solar completado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Perfil de generación por hora desarrollado con estudios o experimental
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Información detallada de la capacidad de la planta, inclinación de los módulos, ángulos de sombreado, orientación, número de módulos por fila y total de módulos e inversores
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modelo 3D del sombreado generado con un software de modelado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modelado 3D de obstáculos que causen sombreado detallado
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pérdidas por resistividad del terreno, lluvias y otras condiciones ambientales calculadas
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Características de los módulos identificadas (degradación, eficiencia a baja luz, tolerancia y coeficiente de temperatura)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ajustes por Incertidumbres de la data del recurso solar
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ajustes por Incertidumbres generales del proyecto
8/9	8/9	6/9	9/9	9/9	Total
88,89%	88,89%	66,67%	100%	100%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.6 Comparación de la Lista de Verificación del Potencial Energético Solar del Área

Fuente: El Autor, 2019

La siguiente tabla, 6.7, se refiere a la verificación del **Área Seleccionada** para el proyecto y el uso que se da de la misma; esta verificación incluye el estudio de los suelos y el área física a ocupar.

Benchmarking del Área Seleccionada					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Dimensión del área adecuada para el tamaño del proyecto
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Propiedad del Área identificada y determinada
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Uso actual del área identificada (industrial, agropecuaria, residencial)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Comunicación exitosa con autoridades regulatorias sobre las restricciones ambientales presentes
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Estudio del Recurso Solar beneficioso
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Características topográficas obtenidas
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Proximidad a las designaciones ambientales nacionales e internacionales determinada
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rutas de acceso al área abiertas e indicadas
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Encuesta geotécnica completada
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Accesibilidad a fuentes de agua subterránea determinada
<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Riesgos de terreno inestable determinados
10/11	9/11	7/11	7/11	11/11	Total
90,91%	81,82%	63,64%	63,64%	100%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.7 Comparación de la Lista de Verificación del Área Seleccionada

Fuente: El Autor, 2019

Finalmente, la tabla 6.8, muestra los resultados de la verificación de **Selección de Módulos PV**, la cual incluye el estudio de los suelos y el área física a ocupar.

Benchmarking de Selección de Módulos PV					
P1	P2	P3	P4	P5	Elementos a Evaluar
☑	☑	☑	☑	☑	Identificación de los datos y record del distribuidor
☑	☑	☑	☑	☑	PV con certificación mínima obtenida, sin elementos corrosivos
☑	☑	☑	☑	☑	Tecnología adaptada o adecuada para las condiciones ambientales de la zona seleccionada
3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	Total
100%	100%	100%	100%	100%	Puntuación para cada proyecto

Tabla 6.8 Comparación de la Lista de Verificación de Selección de Módulos PV

Fuente: El Autor, 2019

Ya ponderados las listas de verificación de los cinco proyectos, se procede a evaluar a través de la fórmula del índice de viabilidad obtenida en el capítulo anterior (formula 5.1), en el rango de 0-100%, que indica la efectividad calculada del proyecto de granja solar en determinada localización, de acuerdo al **Proceso de Planificación** llevado a cabo en cada caso:

Para cada una de las ponderaciones obtenidas en los Proyectos (P1, P2, P3, P4 y P5), se sustituye en la formula mencionada Nro. 5.1 que es la siguiente:

$$I_v = \frac{4}{36}P_{ec} + \frac{3}{36}P_{pf} + \frac{2}{36}P_{ef} + \frac{1}{36}P_{fpc} + \frac{8}{36}P_{rs} + \frac{7}{36}P_{pe} + \frac{6}{36}P_{sa} + \frac{5}{36}P_{sm}$$

Índice de Viabilidad P1:

$$I_v = \frac{4}{36}100 + \frac{3}{36}87.5 + \frac{2}{36}50 + \frac{1}{36}100 + \frac{8}{36}100 + \frac{7}{36}88.89 + \frac{6}{36}90.91 + \frac{5}{36}100$$

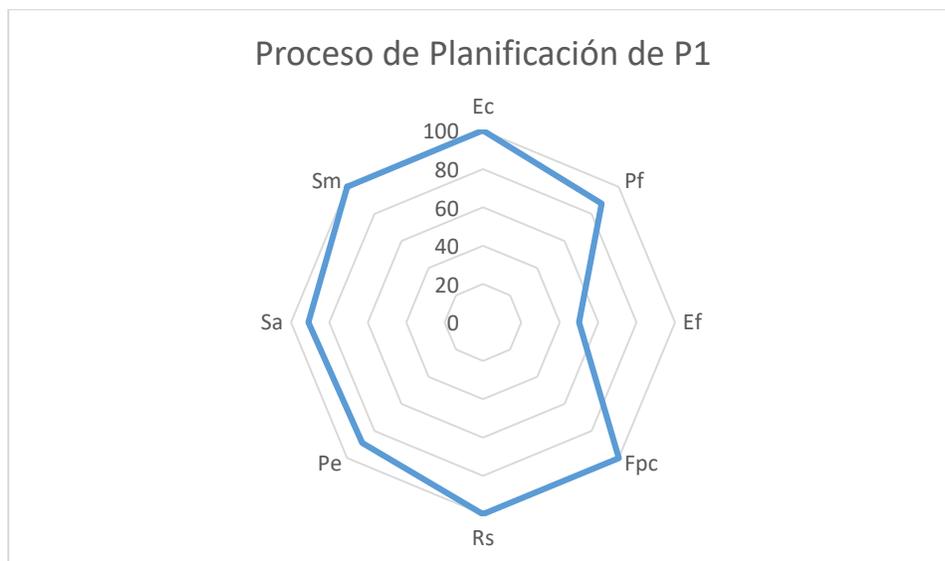
$$I_v = 92.51$$

(6.01) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P1

Fuente: El Autor, 2019

En este resultado se observa que el Proyecto (P1) tiene un índice de viabilidad del 92.51%, tomando en cuenta que para los parámetros de Concepto del proyecto, factibilidad, recurso solar y Selección de Módulos PV se obtuvo un 100%, mientras que, para los parámetros de pre factibilidad, Potencial Energético Solar del Área y Área Seleccionada se encuentran en el rango del 87.5% y 90.91%. Finalmente, para el parámetro de Verificación de Factibilidad de Proyecto, se obtuvo un 50%, mostrando que los factores de mayor peso en la viabilidad del proyecto de granja solar son aquellos relacionados con el recurso solar y la Selección de Módulos PV.

Si incorporamos estos resultados en un gráfico, podemos observar con mayor claridad los factores que influyen en el mayor índice de viabilidad tal como se observa en el gráfico 6.1:



Gráfica 6.1 Proceso de Planificación P1

Fuente: El Autor, 2019

Índice de Viabilidad P2:

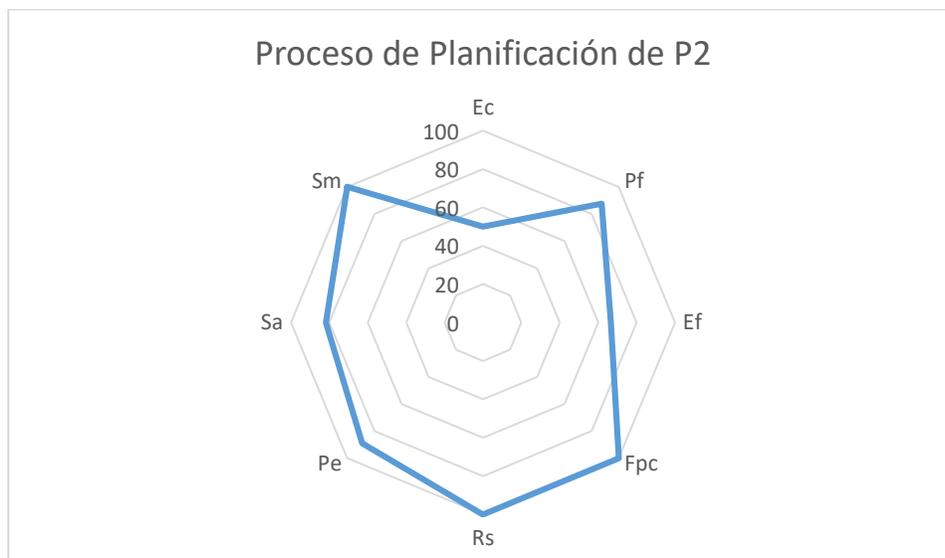
$$I_v = \frac{4}{36} 50 + \frac{3}{36} 87.5 + \frac{2}{36} 66.67 + \frac{1}{36} 100 + \frac{8}{36} 100 + \frac{7}{36} 88.89 + \frac{6}{36} 81.82 + \frac{5}{36} 100$$

$$I_v = 86.36$$

(6.02) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P2

En este resultado se observa que el Proyecto (P2) tiene un índice de viabilidad del 86.36%, tomando en cuenta que, para los parámetros de Finanzas, Permisos y Contratos, Recurso Solar y Selección de Módulos PV se obtuvo un puntaje de 100%, para el Potencial Energético Solar del Área 88.89%, el estudio de pre-factibilidad se sitúa en 87.5%, el Área Seleccionada se encuentran en el rango de 81.82%, y el estudio de factibilidad se encuentra en 66,67%. Finalmente, para el parámetro de Estudio de Concepto, se obtuvo un 50%, mostrando que los factores de mayor peso en la viabilidad del proyecto 2, de granja solar son aquellos relacionados con el recurso solar, la Selección de Módulos PV y el estudio de finanzas.

Si incorporamos estos resultados en un gráfico, podemos observar con mayor claridad los factores que influyen en el mayor índice de viabilidad tal como se observa en el gráfico 6.2:



Gráfica 6.2 Proceso de Planificación P2

Fuente: El Autor, 2019

Índice de Viabilidad P3:

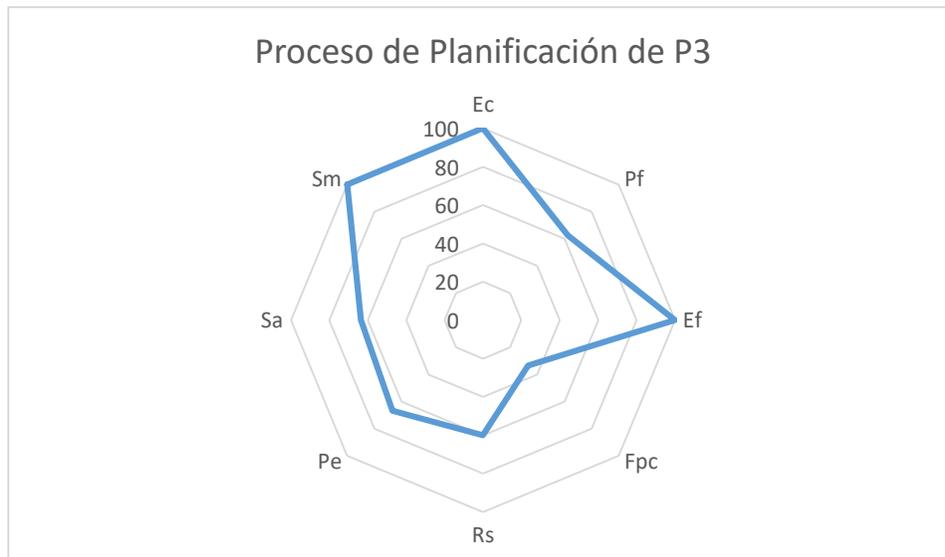
$$I_v = \frac{4}{36} 100 + \frac{3}{36} 62.5 + \frac{2}{36} 100 + \frac{1}{36} 33.33 + \frac{8}{36} 60 + \frac{7}{36} 66.67 + \frac{6}{36} 63.64 + \frac{5}{36} 100$$

$$I_v = 73.59$$

(6.03) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P3

En este resultado se observa que el Proyecto (P3) tiene un índice de viabilidad del 73.59%, tomando en cuenta que, para los parámetros de estudio de factibilidad, estudio de concepto y Selección de Módulos PV se obtuvo un puntaje de 100%, para el Potencial Energético Solar del Área 66.67%, el estudio de selección del área 63.64%, el estudio de pre-factibilidad se encuentra en el rango de 62.5%, y el recurso solar 60%. Finalmente, para el parámetro de Finanzas se obtuvo un resultado de 33.33%, mostrando que los factores de mayor peso en la viabilidad del proyecto 3, de granja solar son aquellos relacionados con el estudio de concepto, la Selección de Módulos PV y el estudio de factibilidad.

Si incorporamos estos resultados en un gráfico, podemos observar con mayor claridad los factores que influyen en el mayor índice de viabilidad tal como se observa en el gráfico 6.3:



Gráfica 6.3 Proceso de Planificación P3

Fuente: El Autor, 2019

Índice de Viabilidad P4:

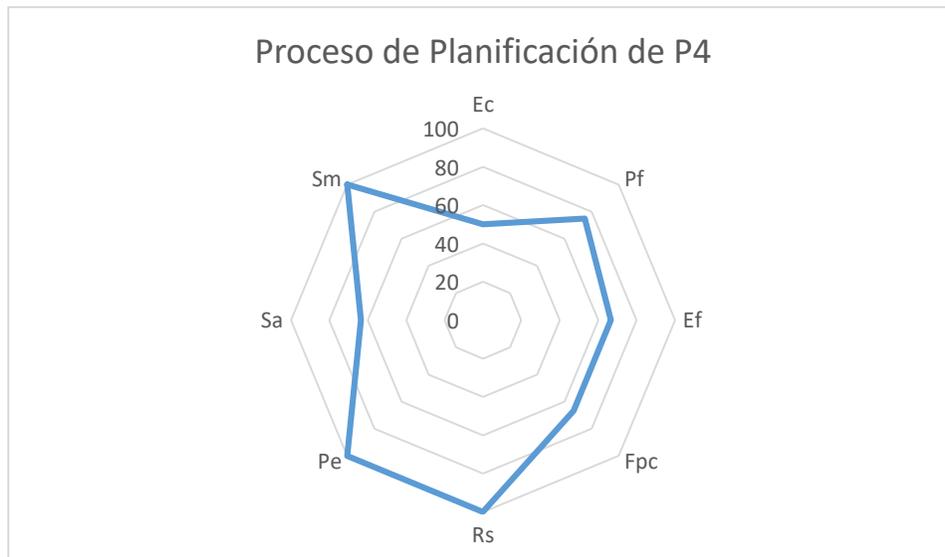
$$I_v = \frac{4}{36} 50 + \frac{3}{36} 75 + \frac{2}{36} 66.67 + \frac{1}{36} 66.67 + \frac{8}{36} 100 + \frac{7}{36} 100 + \frac{6}{36} 63.64 + \frac{5}{36} 100$$

$$I_v = 83.52$$

(6.04) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P4

En este resultado se observa que el Proyecto (P4) tiene un índice de viabilidad del 83.52%, tomando en cuenta que, para los parámetros de recurso solar, potencial energético y Selección de Módulos PV se obtuvo un puntaje de 100%, para el estudio de pre-factibilidad 75%, el estudio de factibilidad y finanzas se encuentran en un 66.67%, el estudio de selección del área se encuentra en el rango de 63.64%, y finalmente, para el parámetro de estudio de concepto se obtuvo un resultado de 50%, mostrando que los factores de mayor peso en la viabilidad del proyecto 4, de granja solar son aquellos relacionados con el recurso solar, la Selección de Módulos PV y el potencial energético.

Si incorporamos estos resultados en un gráfico, podemos observar con mayor claridad los factores que influyen en el mayor índice de viabilidad tal como se observa en el gráfico 6.4:



Gráfica 6.4 Proceso de Planificación P4

Fuente: El Autor, 2019

Índice de Viabilidad P5:

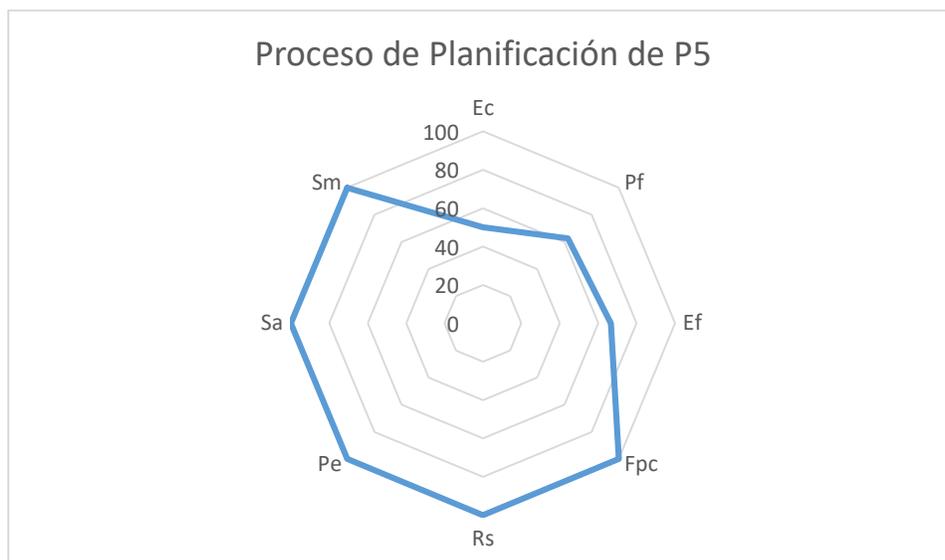
$$I_v = \frac{4}{36} 50 + \frac{3}{36} 62.5 + \frac{2}{36} 66.67 + \frac{1}{36} 100 + \frac{8}{36} 100 + \frac{7}{36} 100 + \frac{6}{36} 100 + \frac{5}{36} 100$$

$$I_v = 89.47$$

(6.05) Fórmula evaluada del Índice de Viabilidad P5.

En este resultado se observa que el Proyecto (P5) tiene un índice de viabilidad del 89.47%, tomando en cuenta que, para los parámetros de finanzas, recurso solar, potencial energético, selección de área y Selección de Módulos PV se obtuvo un puntaje de 100%, para el estudio de factibilidad 66.67%, el estudio de pre-factibilidad 62.5%, y finalmente, para el parámetro de estudio de concepto se obtuvo un resultado de 50%, mostrando que los factores de mayor peso en la viabilidad del proyecto 5, de granja solar son aquellos directamente relacionados con los recursos de radiación solar.

Si incorporamos estos resultados en un gráfico, podemos observar con mayor claridad los factores que influyen en el mayor índice de viabilidad tal como se observa en el gráfico 6.5:



Gráfica 6.5 Proceso de Planificación P5

Fuente: El Autor, 2019

Finalmente, para comparar los índices de viabilidad de los procesos de planificación de cada uno de los proyectos, nos referimos al gráfico 6.6.

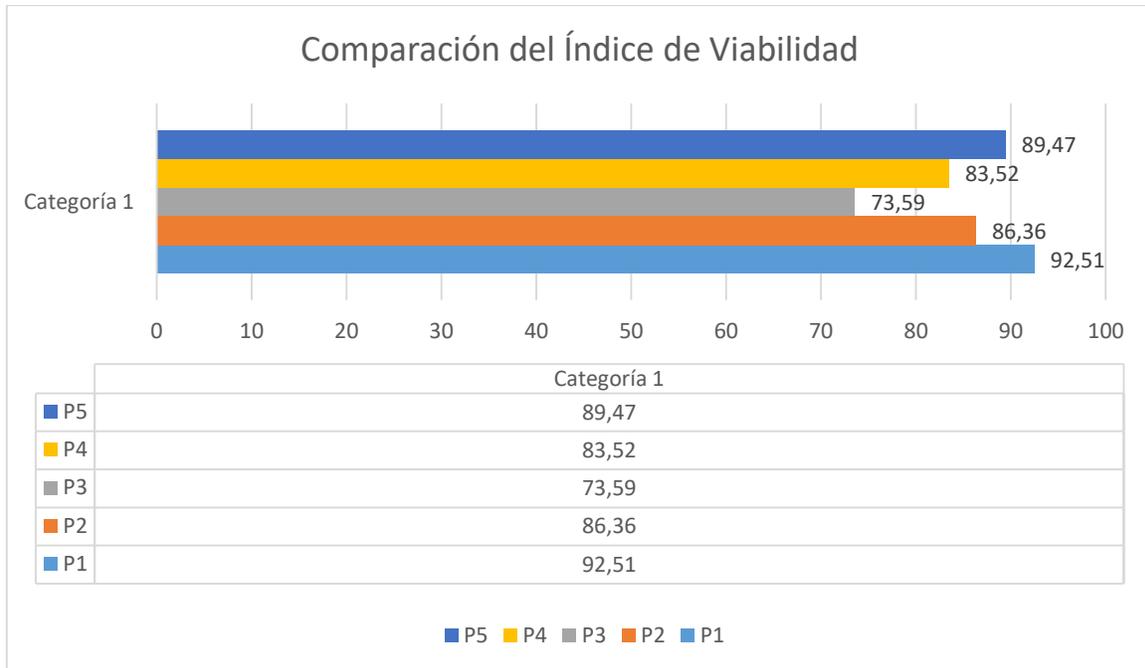


Gráfico 6.6 Comparación de I_v entre proyectos

Fuente: El Autor, 2019

De donde se observa que para el Proyecto 1 (P1), se obtiene una mayor viabilidad en el proceso de planificación (92.51%), ya que es el que cumple con más puntos de verificación en las listas desarrolladas en el proceso de benchmarking.

CAPÍTULO VII LECCIONES APRENDIDAS

Lo primero a mencionar es la realidad que independientemente de la naturaleza del proyecto, las condiciones tecnológicas, y las características del medio ambiente, las ventajas económicas que influyen en el desarrollo de plantas solares tienden a tener mucho más peso y poder de decisión ya que una localización no muy favorable puede compensarse con permisología y financiamiento si los stakeholders están interesados.

En el proceso de la realización de este trabajo especial de grado, el investigador logró evidenciar que el Benchmarking de acuerdo a lo indicado por el PMBOK (2017) permite prever un estándar desde el cual se puede medir el desarrollo de un proyecto, en este caso particular el de granjas solares.

Una de las lecciones personales más trascendentales fue la de la de reducir el alcance de la investigación hasta que se transformara en algo más manejable para un postgrado del nivel de especialización, pero conociendo la realidad de que hay centenares de variables que afectan tan solo el proceso de planificación, y posterior construcción, que, si se estudiaran a fondo, el alcance de este tipo de investigación sobrepasaría los requisitos de postgrado.

Finalmente, de los datos recolectados en forma de opiniones y secciones de documentación asociada, se aprende que el interés en el desarrollo de este tipo de temas, es periódico, de acuerdo con las discusiones y modas del momento, cambia la opinión del público, tanto profesional como simples interesados.

El investigador del presente trabajo Especial de Grado, espera que lo expuesto en este análisis, sea de interés para el desarrollo de proyectos de este tipo, enfocados en el ámbito tecnológico en la ingeniería eléctrica, y estimule de alguna manera el desarrollo de proyectos solares en el sistema eléctrico nacional, a manera que, la comunidad científica avance hacia el cumplimiento del objetivo de que las necesidades energéticas se vean solventadas de una manera sustentable.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la ejecución del trabajo especial de grado, se logró desarrollar un estándar (índice de viabilidad) para evaluar la eficacia de un proyecto de granja solar en la etapa de planificación, con el apoyo de la metodología del Benchmarking de acuerdo al PMBOK 2017, las fuentes bibliográficas y la minería de datos aplicada a redes sociales y GoogleScholar.

Este estudio se enfocó en el aspecto ecológico de los proyectos de granjas solares, no obstante, se recomienda incorporar en el análisis, la localización y disponibilidad de los recursos naturales de los proyectos, lo cual redundará en la mejora del estándar propuesto en este trabajo especial de grado.

Actualmente, y de acuerdo a los resultados de la investigación bibliográfica, durante el proceso de planificación, una limitación medioambiental o tecnológica se ve balanceada por una ventaja económica, si eso no se cumple, el proyecto de granja solar tiende a ser descartado.

El índice de viabilidad que se propone en este trabajo especial de grado, sólo representa una descripción numérica del proceso de planificación, de manera que se pueda evaluar la eficacia de acuerdo a los elementos que se han tomado en cuenta; sin embargo, se espera que mientras más elementos se cumplan de las listas de verificación, podría lograrse mayor eficacia; esto será parte de otro trabajo de investigación que profundice sobre el particular y realice las pruebas del índice de viabilidad planteado.

Se recomienda un análisis estadístico más profundo, para poder obtener una mayor precisión de los datos que alimentan el benchmarking.

Para el caso de Venezuela, existe un reto adicional en el desarrollo de granjas solares: en su condición de observador en el Tratado de Energía Internacional, nuestro país no está obligado a cumplir metas de sustitución de fuentes de generación por métodos renovables, razón por la cual no hay ningún impulso ni responsabilidad que estimule su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (2016). Energía Solar. Serie de publicaciones científicas N° 10. Recuperada de: https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/Energia_Solar.pdf#page=6. Consultada el 14 de marzo de 2019
- Alavia W., Escudero M., Fthenakis V., Grágeda M. y Ushaka S. (2016). Review and multi-criteria assessment of solar energy projects in Chile (Publicación en revista Científica). Renewable and Sustainable Energy Reviews. Recuperada de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015324>. Consultado el 13 de marzo de 2019
- Amin, I., Farid, B., Shahryar, R., Greg F. Naterer. University of Ontario Institute of Technology, University of Newfoundland. Canada. 2015. Disponible En La Red En: https://www.researchgate.net/profile/Farid_Bourennani2/publication/275997424_Optimal_Photovoltaic_System_Design_with_Multi-Objective_Optimization/links/586122f008aebf17d392959c/Optimal-Photovoltaic-System-Design-with-Multi-Objective-Optimization.pdf. Consultado el 3 de Septiembre de 2018
- Anguera, M.T. (1979) Observational Typology. Quality & Quantity. European-American Journal of Methodology, 13 (6), 449-484.
- Anguera, M.T. (1981) La observación (I): Problemas metodológicos. En R. Fernández Ballesteros y J.A.I. Carrobes (Eds.) Evaluación, conducta, Metodología y aplicaciones (pp. 292-333). Madrid: Piramide.
- Anguera, M.T. (1983) Manual de prácticas de observación. México: Trillas.
- Anguera, M.T. (1985a, Septiembre) La observabilidad en Psicología: Problemática e implicaciones. Comunicación presentada en el 111 Congreso de Teoría y Metodología de las Ciencias (Sección ((Fundamentos de las Ciencias Antropológicas y Culturales))). Gijón, Asturias.
- Anguera, M.T. (1985b) Posibilidades de la metodología cualitativa vs. cuantitativa. Revista de Investigación Educativa, 3 (6), 127-144.
- Anguera, M.T. (1985-) Metodología de la observación en las Ciencias Humanas (3ª edic. ampliada). Madrid: Cátedra.
- Anguera, M.T. (1985d, Noviembre) Establecimiento de pautas para la viabilidad en la categorización y reducción de datos en la transformación de marcos de conducta. Trabajo inédito no publicado. Barcelona: Universidad de Barcelona, Departamento de Psicología Experimental.
- Anguera, M.T. (1986a) Niveles descriptivos en metodología observacional. Apuntes de Psicología, 16 (I), 29-32.
- Anguera, M.T. (1986b) Observación. En S. Molina (Dir.) Diccionario Temático de Educación Especial (pp. 466-483). Madrid: C.E.P.E., vol. 1.

- Anguera, M.T. (1987) Uso de mapas conductuales y cognitivos en evaluación ambiental. En R. Fernández Ballesteros (Ed.) El ambiente. Análisis psicológico (pp.81-102). Madrid: Pirámide.
- Anguera, M.T. (En Prensa A) Confrontación Epistemológica Entre El Conductismo Y La Psicología Cognitiva, Y Sus Repercusiones Metodológicas. Estudios De Psicología.
- Anguera, M.T. (en prensa b) Hacia una representación conceptual: Teorías y modelos. En J. Arnau y H. Carpintero (Eds.) Tratamiento de Psicología General. Vol. I: Historia, teoría y método. Madrid: Alhambra.
- Anguera, M.T. Y Blanco, A. (1984, Septiembre) Aplicación de la teoría de la generalizabilidad a datos observacionales. Comunicación presentada en el XXIII Congreso Internacional de Psicología (Mesa Redonda ((Measurement in Clinical Psychology))). Acapulco, México.
- Baeza-Yates, R. (2009). Tendencias en minería de datos de la Web. El profesional de la información, 18(1), pp. 5-10. DOI: 10.3145/epi.2009.ene.01. Recuperado de: <http://www.elprofesionalde lainformacion.com/contenidos/2009/enero/01.pdf>. Consultado el 13 de marzo de 2019
- Baldwin C. (2015). Here Comes the Sun: Social Impacts of Solar Electricity in Saskatchewan (Tesis de Maestría). Recuperada de: https://sens.usask.ca/documents/msem-projects/CaraBaldwin_MSEMProject_Sept15.pdf. Consultado el 24 de Febrero de 2019
- Banet, C., (2016). Renewable energy: international regulation and international trade law. Instituto Escandinavo de Ley Marítima. Universidad de Oslo. Disponible en la red en: <https://www.uio.no/studier/emner/jus/jus/JUS5911/v16/undervisningsmateriale/international-regulation-of-renewable-energy-for-students-final.pdf>
- Basurto L., (2015). Plan De Negocios Para La Creación De Una Empresa Dedicada A La Comercialización, Instalación Y Mantenimiento De Paneles Solares En El Área Rural Del Cantón Santa Lucía, Provincia Del Guayas (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil. Disponible en la red en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8885/1/TESIS%20PANELES%20SOLAR%20V3.pdf>. Consultado el 14 de marzo de 2019
- Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Monteaquedo, F. y Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. Ciencia UAT, 11(2), 105-117. Recuperado en 10 de marzo de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100105&lng=es&tlng=es.
- Berke, J., (2018). One simple chart shows why an energy revolution is coming — and who is likely to come out on top. Business Insider. Disponible en la red en: <https://www.businessinsider.com/solar-power-cost-decrease-2018-5>

- Bloch, M. (2018). Solar PV Electricity Cost Reduction, Remarkable – IRENA. SolarQuotes. Disponible en la red en:
<https://www.solarquotes.com.au/blog/solar-electricity-costs-irena-mb0415/>
- Bowden, S., Honsber, C., (2010) “PV CDR0M”. Disponible en Internet.
<http://www.pveducation.org>. Consultado el 5 de Agosto de 2018.
- Bréon F. M., Collins W., Fuglestvedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J. F., Lee D., Mendoza B., Myhre, G., Nakajima T., Robock A., Shindell D., Stephens G., Takemura T., y Zhang H. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado del sitio:
http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter08_FIN_AL.pdf. Consultado el 24 de Febrero de 2019.
- Bureau of Land Management (2011). Desert Sunlight Solar Farm Project. Bureau of Land Management.
- Caldera, M. (2016). Energía Solar en Venezuela: Mitos, verdades y realidades. DesdeLaPlaza.com. Recuperado del sitio:
<https://www.desdelaplaza.com/poder/energia-solar-en-venezuela-mitos-verdades-y-realidades/>. Consultado el 11 de marzo de 2019
- Cayetano M., (2010), Los Nuevos Paisajes De La Energía Solar: Las Centrales Termosolares. Universidad de Murcia. Recuperado del sitio:
<http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1458/Art.65-92.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado el 13 de Marzo de 2019.
- Chua N. (2016). The Many Benefits Of Utilizing Solar Energy. Recuperado del sitio en internet Solenergy Systems Inc.: <http://solenergy.com.ph/solar-panels-philippines-benfits-solar-energy/>
- Cilveti, I. y Pereira, J., (2010). Proceso De Creación De Una Planta Solar Fotovoltaica Conectada A La Red (Tesis de Postgrado). Recuperada de:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10756/PFC%20lxtebe%20Portabella%2020100830.pdf>. Consultado el 11 de febrero de 2018.
- Diario El Panorama. (2018). Desarrollo de la energía solar en Venezuela, vacilar es perderse. Recuperada de:
<https://www.panorama.com.ve/experienciapanorama/Desarrollo-de-la-energia-solar-en-Venezuela-vacilar-es-perderse-por-Haiman-El-Troudi--20180906-0001.html>. Consultado el 12 de marzo de 2019
- Dade, E. (2011). Les Systemes Energetiques A Usage Productif Par La Technologie Photovoltaïque (Tesis de Maestría). Fundación 2iE. Recuperado de: http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=1745. Consultado el: 18 de marzo de 2019
- Dsouza, Austin, “A business model design framework for the viability of energy enterprises in a business ecosystem, Summarised stakeholder analysis for

the community-owned solar farm business ecosystem”, ResearchGate. Disponible en la red en: https://www.researchgate.net/figure/3-Summarised-stakeholder-analysis-for-the-community-owned-solar-farm-business-ecosystem_tbl5_323219254

Edenhofer O., Eickemeier P., Hansen G., Kadner S., Matschoss P., Pichs-Madruga R., Schlömer S., Seyboth K., Sokona Y., von Stechow C., Zwickel T., (2011). IPCC, 2011: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y New York, NY, USA. Recuperado de: <http://www.ipcc.ch/report/srren/>. Consultado el 24 de Febrero de 2019.

First Solar. (2015), Firstsolar.com. "Topaz Solar Farm". First Solar. Recuperado de: <http://www.firstsolar.com/404?item=%2fabout-us%2fprojects%2ftopaz-solar-farm&user=extranet%5cAnonymous&site=firstsolar>

Frankel, D, Perrine, A. y Pinner D. (2019). How solar energy can (finally) create value. Recuperado del sitio en internet McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-solar-energy-can-finally-create-value>

Ghiassi-Farrokhfal, Y., Kazhamiaka, F., Rosenberg, C., Keshav S. (2014). “Optimal Design of Solar PV Farms with Storage” University of Waterloo. Reporte Técnico. Disponible en la red en: http://blizzard.cs.uwaterloo.ca/iss4e/wp-content/uploads/2014/12/Solar_farm_tech1.pdf. Consultado el 18 de Agosto de 2018.

Giglmayr, S. (2015), Development of a Renewable Energy Power Supply Outlook 2015 for the Republic of South Africa (Tesis de Maestría). Universidad de Viena. Recuperado de: http://sterg.sun.ac.za/wp-content/uploads/2010/11/Giglmayr_MasterThesis1.pdf. Consultado el 18 de Marzo de 2019

Goldenstein, T. (2015) "Huge solar farm opens in California: Enough energy for 160,000 homes". Los Angeles Times.

González, J., (10 de Julio de 2017). ¿Qué es la energía verde? [Mensaje en un Blog]. Recuperado de <https://sotysolar.es/blog/que-es-la-energia-verde>

Grupo Corporativo ENDE (2019). Estructura Organizacional. Recuperado de: <https://guaracachi.com.bo/nosotros/organigrama>.

Guzmán V., M., Soto C., C., Águila B., I. y Torres Á., J. (2017). Procedimiento para instalación de un sistema fotovoltaico sobre techos en la corporación Cuba Ron s.a. Centro Azúcar, 44(1), 70-81. Recuperado en 10 de marzo de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000100008

Hernández, Fernández y Baptista. (2003). Metodología de la Investigación. (3ª ed.). México: Mc Graw-Hill.

- IFC. (2015). Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. Recuperado de: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report+Web+08+05.pdf?MOD=AJPERES>
- Küchler, S. (2013). Solar Energy Assessment Based in Weather Station Data for Direct Dite Monitoring in Indonesia (Tesis de Maestría). Universidad de Viena. Recuperado de: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:699365/FULLTEXT02.pdf>. Consultado el 18 de marzo de 2019.
- Landau, C. (2012) Optimum Tilt of Solar Panels. Disponible en Internet. <http://www.solarpaneltilt.com/>.
- Laue E. (1970). The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations. Disponible en Internet. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V50-497T7KC-T/2/c932c2f01c2de3c36c0f461c991f791a>.
- Lázaro, B. (2015). Procedimiento Multicriterio-Multiobjetivo de Planificación Energética a Comunidades Rurales Aisladas (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid. Consultado el 18 de marzo de 2019.
- Cardozo, L. (Publicación sin año). Venezuela: de Líder Petrolero Mundial a Líder en Energías Renovables. Fundación Ambientalistas. Disponible en internet: <http://www.azulambientalistas.org/Venezuela-de-lider-petrolero-mundial-a-lider-en-energias-renovables.html>. Consultado el 13 de marzo de 2019
- Leone, S. (2011). "Billionaire Buffett Bets on Solar Energy". Renewable Energy World.
- Lewis, N. S., (2007). Toward Cost-Effective Solar Energy Use [Resúmen]. *Science Magazine*, 315, 798-801. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/80c3/e0044c4d590c634cc61c715d9049743220dc.pdf?_ga=2.204218648.944162836.1552958217-1345495303.1552958217
- Mihov, D., (2017). Google's new sun map will tell you whether your roof needs a solar panel. The Next Web. Disponible en la red en: <https://thenextweb.com/google/2017/03/16/google-sun-map-solar-panel/>
- Moll, D (2017) Energía solar, una nueva oportunidad de negocios en Venezuela. El emprendedor. Disponible en: <http://periodicoemprendedor.com/ve/dinero/item/2204-energ%C3%ADa-solar,-una-nueva-oportunidad-de-negocios-en-venezuela.html>
- National Governors Association. (Musk E., ponente). (2017). *Ahead of the curve*. De: <https://youtu.be/2C-A797y8dA>
- Neill S., Martel C., y Stapleton G. (2017) Solar Farms: the Earthscan Expert Guide to Design and Construction of Utility-Scale Photovoltaic Systems. Recuperado parciamente de: <https://books.google.co.ve/books?id=Di0IDwAAQBAJ&pg=PA178&lpg=PA178&dq=manual+for+the+construction+of+solar+farms&source=bl&ots=xalCr>

[_03Ya&sig=sNk0QnOA3BzatzQKn9Bggvr7CBk&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwi7srP_OrZAhVwoFkKHfI9BV4Q6AEIQzAC#v=onepage](https://www.researchgate.net/publication/331111111)

- Ochoa, J., (2009). Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo (Tesis de Maestría). Universidad de Cataluña. Consultado el 18 de marzo de 2019
- Posso, F., González, J., Guerra, F., y Gómez, H. (2013). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. Universidad de los Andes.
- Pozz, F. (2004) Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela. Anales de la Universidad Metropolitana, ISSN-e 1856-9811, V. 4, (1). pp. 147-164. En: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4003560>
- Project Management Institute (2017), PMBOK (Edición de 2017). Newtown Square, Pensilvania.
- Redacción Interempresas. (2012). Los beneficios económicos de las energías renovables son muy superiores a sus costes. Interempresas. Disponible en la red en: <http://www.interempresas.net/Energia/Articulos/103861-Los-beneficios-economicos-de-las-energias-renovables-son-muy-superiores-a-sus-costes.html>
- REN21 (2017) Renewables 2017 Global Status Report. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf
- Renewable Energy World. (2011) "DOE Closes on Four Major Solar Projects". Renewable Energy World.
- Rothberg, Daniel. (2016). Are brighter días ahead for Nevada solar customers? Las Vegas Sun. Disponible en: <https://lasvegassun.com/news/2016/mar/28/are-brighter-dias-ahead-for-solar-customers/>. Consultado el 25 de Enero de 2019
- Sneed, D. (2008). "Calif. utility agrees to buy solar power from two proposed plants". The Tribune.
- Sneed, D. (2009). "Solar power company drops out of plans for Carrizo Plain in eastern San Luis Obispo County". The Tribune.
- Solar Star 1, Monthly. (2017). *Electricity Data Browser*. Energy Information Administration. Disponible en la red en: <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/#/plant/58388/?pin=ELEC.PLAN T.GEN.58388-SUN-ALL.M&linechart=ELEC.PLAN.T.GEN.58388-SUN-ALL.M>
- SunlightElectric. (2002-2013). ROI and Payback. Sunlight Electric, LLC. Disponible en la red en: <http://sunlightelectric.com/roipayback.php>. Consultado el 28 de Enero del 2019.
- Vicepresidencia de la República Bolivariana de Venezuela. (2018). Venezuela y Vanuatu evaluaron mecanismos de cooperación bilateral. Publicación en su

portal web: <http://www.vicepresidencia.gob.ve/index.php/2018/03/12/33125/>. Consultado el 13 de marzo de 2019.

Villarig, J. M., y Margarit, J., (2011). Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España en 2011. Asociación de Empresas de Energías Renovables. España.

Wang, U. (2009). "First Solar Buys Land Option From Ausra for Topaz Project". Greentech Media.

Wesoff, E., (2015). Solar Star, Largest PV Power Plant in the World, Now Operational. Green Tech Media. Disponible en la red en: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Solar-Star-Largest-PV-Power-Plant-in-the-World-Now-Operational#gs.eqYkcWm5>

Wholesale Solar. (2010), *Wholesalesolar.com*. "Solar Panels need to be positioned just right to maximize power harvesting". Recuperado de: <http://www.wholesalesolar.com/solarinformation/solar-panel-efficiency>.

Why Solar Energy (2011). *Engineering.com*. Recuperado de <https://www.engineering.com/SustainableEngineering/RenewableEnergyEngineering/SolarEnergyEngineering/WhySolarEnergy/tabid/3893/Default.aspx>

Woody, T. (2009). "Ausra Sells Planned Plant to First Solar". The New York Times.

ANEXOS

1. Comparación estética de granjas solares en mantenimiento



Figura 1 Comparación estética de granjas Solares

2. Los 10 Proyectos Solares más grandes del mundo

Las 10 granjas solares más grandes del mundo	
1. Solar Star (I y II)	Capacidad: 579 MW _{AC} Lugar: California, USA Año: 2015
2. Granja Solar Topaz	Capacidad: 550 MW _{AC} Lugar: California, USA Año: 2015
3. Granja Solar Desert Sunlight	Capacidad: 550 MW _{AC} Lugar: California, USA Año: 2015
4. Estructura Solar Copper Mountain	Capacidad: 458 MW _{AC} Lugar: Nevada, USA Año: Fase 3 completada en el 2015, fase final, con 94 MW _{AC} extras, completada en 2016
5. Parque Solar Represa Longyangxia	Capacidad: 320 MW _{AC} Lugar: Qinghai, China Año: 2013
6. Granja Solar Cestas	Capacidad: 300 MW _{AC} Lugar: Bordeaux, Francia Año: 2015
7. Proyecto Solar Agua Caliente	Capacidad: 290 MW _{AC} Lugar: Arizona, USA Año: 2014
8. Rancho Solar Valle California	Capacidad: 250 MW _{AC} Lugar: California, USA Año: 2013
9. Estructura Parque Solar Charanka	Capacidad: 224 MW _{AC} Lugar: India Año: 2013
10. Proyecto Solar Mount Signal	Capacidad: 206 MW _{AC} Lugar: California, USA Año: 2014

Tabla 1 Los 10 Proyectos Solares más grandes del mundo (Neill S., Stapleton G. y Martel C., 2017, [Resumen])

Fuente: Solar Farms: the Earthscan Expert Guide to Design and Construction of Utility-Scale Photovoltaic Systems, (2017), por: Neill et al., p. 31.

3. Tratados Internacionales

En el 2015 se firma la Carta de Energía Internacional y la Carta de Energía 1998 con el Protocolo de Eficiencia Energética y Aspectos Ambientales Asociados (PEEREA), el cual es el único tratado internacional que regula directamente actividades económicas en el sector energético, aunque en ese mismo año se establece como una organización sin carácter obligatorio, ni legal ni financiero.

Por otro lado, en el 2005 se funda la Conferencia Internacional para Energías Renovables, en Bonn, Alemania, como una red de mejora de políticas energéticas, incluyendo a gobiernos, organizaciones internacionales, asociación de industrias y a la sociedad civil científica y académica. En esta, los ministros y representantes de gobierno de 154 países se comprometen a contribuir con el desarrollo sustentable y promover el acceso a energía, reduciendo contaminantes pesados del ambiente, y colaborar con los países pobres a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y crear oportunidades económicas a través de la cooperación y la colaboración. Es importante agregar que, en esta conferencia, Venezuela se presenta como país observador, tal como se muestra en la figura 2.3, lo que significa que las regulaciones de ese programa no son obligadas a ser cumplidas por nuestra nación.

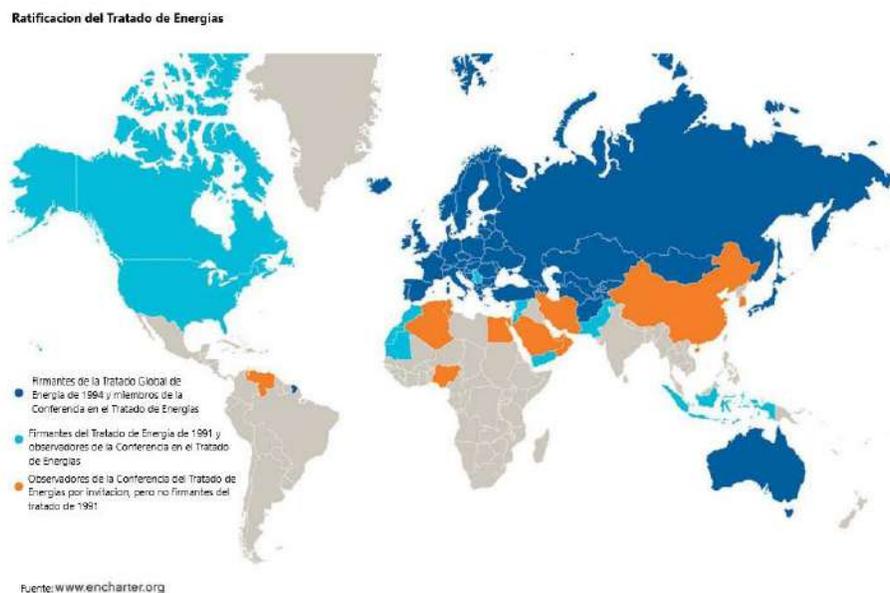


Figura 3 Países Involucrados en el Tratado de Energía

Fuente: Banet, 2016