



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo A.C.**

**VALORACIÓN DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA: PARQUE
SOLAR LA OREJANA, HERMOSILLO SONORA**

Por

María Guadalupe Cantú Córdova

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE DESARROLLO REGIONAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRA EN DESARROLLO REGIONAL

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de María Guadalupe Cantú Córdova, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Desarrollo Regional.



Dr. Vidal Salazar Solano
Director de tesis



Dr. Jesús Martín Robles Parra
Integrante del comité de tesis



Dr. Carlos Gabriel Borbón Morales
Integrante del comité de tesis



Dr. Isaac Shamir Rojas Rodríguez
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Evaluación de la Incidencia de las Variables Meteorológicas en la Generación de Energía Eléctrica del Parque Solar Fotovoltaico La Orejana de Hermosillo, con Perspectiva de Economía Circular (2021)” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial de la autora María Guadalupe Cantú Córdova, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.**
Coordinación de Programas Académicos



Dra. Graciela Caire Juvera
Directora General

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por el apoyo económico recibido durante los dos años de maestría.

Mi agradecimiento al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en Desarrollo Regional.

Especialmente, agradezco a Dios, por ser siempre mi guía al encomendarme a él, por protegernos, por ser la luz en nuestro camino; Señor, en ti confío.

Al director de tesis Dr. Vidal Salazar Solano, a los miembros del Comité: Dr. Jesús Martín Robles Parra, Dr. Carlos Gabriel Borbón Morales, Dr. Shamir Rojas, por su confianza y sugerencias en la realización de esta tesis.

A los profesores que me impartieron clases en la maestría, por sus enseñanzas, así mismo al personal administrativo por el apoyo brindado.

A mi familia, por su inmenso amor, que nutre el día a día de mi existencia.

Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por proporcionarme toda la información solicitada.

A Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora (REMAS), en especial a la Lic. Susana Domínguez, por facilitarme los datos de las variables ambientales de la estación meteorológica Chipilon y otras, porque siempre estuvo pronta y amable en responderme cada uno de los múltiples correos.

A los encargados del portal de transparencia, por entregar toda la información solicitada, por medio del folio: 0001600108121

A Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA) y Registro Agrario Nacional (RAN) por toda la información proporcionada.

A la Universidad de Sonora (UNISON), Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable (CEDES), Universidad Estatal de Sonora (UES), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura (SAGARHPA), Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), por toda la información que se constató.

Millones de gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, tuyo es el reino, tuyo es el poder y la gloria por siempre Señor.
A mi familia, por su amor y apoyo incondicional.

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Planteamiento del Problema.....	18
1.2. Justificación.....	21
1.3. Pregunta de Investigación.....	24
1.4. Hipótesis.....	24
1.5. Objetivo General.....	24
1.5.1Objetivos Específicos.....	24
1.6. Estructura de la Tesis	25
2. MARCO CONTEXTUAL	27
2.1 Energía Fotovoltaica en México.....	27
2.1.1 La Energía Fotovoltaica en Sonora.....	28
2.1.2 Plantas Solares Fotovoltaicas en Hermosillo.....	30
2.2 Ubicación del Estado de Sonora	30
2.2.1 Ubicación del Municipio de Hermosillo.....	31
2.2.2 Ubicación de la Planta Solar Fotovoltaica La Orejana.....	31
2.2.2.1 Colindancias de la planta solar fotovoltaica La Orejana.....	33
2.2.2.2 Descripción de la planta fotovoltaica La Orejana.....	34
2.2.2.3 Tipos de paneles solares de la planta fotovoltaica La Orejana.....	34
2.2.2.4 Geología del predio La Orejana.....	34
2.2.2.5 Edafología del predio La Orejana.....	35
2.2.2.6 Aguas superficiales. Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca, del parque solar fotovoltaico La Orejana.....	35
2.2.2.7 Carta Topográfica El Batamote H12C39.....	37
2.2.2.8 Zona de sismicidad.....	38
2.2.2.9 Áreas naturales protegidas federales.....	39
2.2.2.10 Áreas naturales protegidas estatales en Sonora.....	39
2.2.2.11 Área natural protegida municipal en Hermosillo.....	39
2.3. Factores Abióticos.....	39
2.4. Factores Bióticos.....	40

CONTENIDO (continuación)

2.4.1. Vegetación.....	40
2.4.2. Fauna.....	41
2.5. Estación Meteorológica Automática (EMA).....	42
2.5.1. Red de Estaciones Meteorológicas de Sonora (REMAS).....	42
2.5.2. Red de Estaciones Meteorológicas de Hermosillo	43
2.6. Contexto Social.....	45
2.7. Contexto Político.....	47
2.8. Contexto Cultural.....	48
3. MARCO REFERENCIAL.....	49
3.1. Trabajos de Investigación Realizados a Nivel Internacional, México y Sonora.....	49
3.1.1. Trabajo de Investigación Realizado a Nivel Internacional.....	49
3.1.2. Trabajos de Investigación Realizados en México.....	50
3.1.3. Trabajos de Investigación Realizados en Sonora.....	50
3.2. Energía Fotovoltaica a Nivel Mundial, México, Sonora y Hermosillo.....	51
3.2.1. Energía Fotovoltaica a Nivel Mundial.....	51
3.2.2. Energía Fotovoltaica en México.....	52
3.2.3. Energía Fotovoltaica en Sonora.....	52
3.2.4. Energía Fotovoltaica en Hermosillo.....	53
3.2.5 Ventajas y Desventajas de la Energía Solar Fotovoltaica.....	54
4. MARCO TEÓRICO.....	55
4.1. Antecedentes.....	55
4.2. El Sol y Tipos de Radiación.....	56
4.2.1. El Sol.....	56
4.2.2. Radiación Solar.....	56
4.2.2.1. Tipos de Radiación Solar.....	56
4.3. Energía Solar Fotovoltaica.....	57
4.3.1. Primera, Segunda y Tercera Generación de Celdas Solares.....	57
4.3.2. Eficiencia Energética.....	58
4.4. Bases Teóricas.....	58
4.5. Economía Circular.....	60
4.5.1. Acciones a Realizarse en la Fase de Abandono en el Parque Solar Fotovoltaico La Orejana.....	62
4.5.2. Disposición Final de Paneles Fotovoltaicos.....	62
5. METODOLOGÍA.....	65
5.1. Clasificación Metodológica del Trabajo de Investigación.....	65
5.2. Confiabilidad y Validación.....	67
5.3 Delimitación Espacial y Temporal.....	67
5.3.1. Espacial.....	67
5.3.2. Temporal.....	68
5.4. Limitaciones de Estudio.....	68
5.5. Procedimiento Metodológico.....	68

CONTENIDO (continuación)

5.5.1. Gráfica de Barras.....	68
5.5.2. Diagrama de Cajas.....	69
5.5.3. Prueba Shapiro-Wilk.....	70
5.5.4. Regresión Lineal.....	70
5.5.6. Meteoblue.....	71
6. RESULTADOS	72
6.1. Gráficas de Barras del Análisis Anual de las Variables meteorológicas de la Estación Chipilon.....	73
6.2. Diagrama de Cajas de las Variables Meteorológicas.....	75
6.3. Análisis de las Variables Meteorológicas por Meteoblue.....	78
6.4. Análisis de las Variables Meteorológicas por la Prueba Shapiro-Wilks.....	84
6.5. Regresión Lineal de las Variables Meteorológicas.....	87
6.6. Estrategias para el Aprovechamiento de los Residuos de los Paneles Solares Fotovoltaicos de Acuerdo a la Economía Circular	100
7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	103
7.1. Conclusiones.....	103
7.2. Recomendaciones.....	106
7.3. Trabajos Futuros.....	109
8. REFERENCIAS.....	111
9. ANEXOS.....	132
9.1. Conceptos Relevantes.....	132
9.2. Normatividad.....	134
9.2.1. Tratados Internacionales	134
9.2.2. Reuniones y Alianzas.....	135
9.2.3. Acuerdos, Decretos y Decisiones.....	136
9.2.4. Legislación Nacional.....	136
9.2.5. Legislación Estatal.....	137
9.2.6. Reglamentación Municipal.....	138
9.2.7. Normas Oficiales Mexicanas.....	138
9.2.8. Planes y Programas.....	139
9.2.9. Instituciones para Promover la Inversión de Energías Renovables en México.....	140
9.2.10. Programas Federales.....	140
9.2.11. Fuentes de Financiamiento.....	141
9.2.12 Municipios de Sonora Vulnerables al Cambio Climático, con Base en los Resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC).....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Radiación solar en México.....	28
2. Ubicación de los parques fotovoltaicos en Sonora.....	29
3. El parque solar fotovoltaico La Orejana.....	33
4. Ubicación del parque solar fotovoltaico La Orejana.....	33
5. Región hidrológica 9.....	36
6. La Cuenca del Rio Sonora.....	37
7. Carta topográfica El Batamote H12C39.....	38
8. Asentamientos de grupos étnicos que habitan cerca de La Orejana.....	47
9. Localización de la estación meteorológica Chipilon.....	67
10. Análisis anual de la radiación solar (2014-20121).....	73
11. Análisis anual de temperatura promedio (2014-2021).....	73
12. Análisis anual de humedad relativa (2014-2021).....	74
13. Análisis anual de precipitación (2014-2021).....	74
14. Análisis anual de velocidad del viento (2014-2021).....	75
15. Rosa de los vientos (2014-2021).....	75
16 Diagrama de caja de la radiación solar (2014-2021).....	76
17 Diagrama de caja de la temperatura media (2014-2021).....	77
18. Serie de tiempo de la humedad relativa (2014-2021).....	77
19. Serie de tiempo de la precipitación (2014-2021).....	78
20. Serie de tiempo de la velocidad del viento (2014-2021).....	78
21. Cambio anual de la temperatura de la zona de La Orejana (1979-2021).....	80
22. Variación anual de la precipitación en la zona de La Orejana (1979-2021).....	80
23. Anomalías mensuales de temperatura y precipitación en la zona La Orejana (1979-2021).....	81
24. Cielo nublado, sol y días de precipitación de la zona La Orejana (1979-2021).....	81
25. Días con temperaturas máximas y días con heladas de la zona La Orejana (1979-2021).....	82
26. Cantidad de precipitación y días secos de la zona La Orejana (1979-2021).....	82
27. Velocidad del viento de la zona La Orejana (1979-1921).....	83

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
28. La Rosa de los Vientos de la zona La Orejana (1979-1921).....	83
29. Regresión lineal de radiación solar y velocidad del viento (2014-2021)	90
30. Regresión lineal de radiación solar y humedad relativa (2014-2021).....	91
31. Regresión lineal de radiación solar y precipitación (2014-2021)	92
32. Regresión lineal de radiación solar y temperatura media (2014-2021).....	93
33 Regresión lineal de Temperatura media y velocidad del viento (2014-2021).....	94
34 Regresión lineal de Temperatura media y precipitación (2014-2021)	95
35 Regresión lineal de Temperatura media y humedad relativa (2014-2021).....	96
36 Regresión lineal de Precipitación y velocidad del viento (2014-2021).....	97
37 Regresión lineal de Precipitación y humedad relativa (2014-2021)	98
38 Regresión lineal de Velocidad del viento y humedad relativa (2014-2021).....	99

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Parques de energía solar fotovoltaica en Hermosillo.....	30
2. Análisis edafológico del predio La Orejana.....	35
3. Información de la Región hidrológica 9.....	36
4. Tipos de vegetación y su superficie de La Orejana.....	41
5. Estaciones meteorológicas de Hermosillo, Sonora.....	44
6. Censo histórico del predio rural La Orejana.....	46
7. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.....	54
8. Bibliografía sobre sistemas fotovoltaicos.....	60
9. Impacto ambiental de los materiales de los paneles fotovoltaicos.....	63
10. Clasificación metodológica del trabajo de investigación.....	65
11. Prueba Shapiro-Wilks, velocidad del viento (2014-2021)	85
12. Prueba Shapiro-Wilks, radiación solar, (2014-2021).....	86
13. Prueba Shapiro-Wilks, precipitación (2014-2021).....	86
14. Prueba Shapiro-Wilks, humedad relativa (2014-2021).....	87
15. Prueba Shapiro-Wilks, temperatura promedio (2014-2021).....	87
16. Tipo de relación entre las variables meteorológicas a través de regresión lineal.....	88

RESUMEN

Hermosillo tiene una ubicación geográfica privilegiada por su alta irradiación solar y su colindancia con Estados Unidos (mercado de energía), lo hace un lugar idóneo para el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos. El 60% de los hogares hermosillense, presentan actualmente vulnerabilidad económica para poder pagar su consumo de electricidad; la energía fotovoltaica es limpia, renovable y económica. Se realizó el análisis estadístico de las variables: humedad relativa, temperatura, radiación solar, precipitación y velocidad del viento, para determinar su grado de incidencia en la generación de energía de la planta solar fotovoltaica la Orejana. Es un estudio cuantitativo, descriptivo, con diseño no experimental, transeccional. Las variables meteorológicas se analizaron con su media anual y se representaron en: gráficas de barra y series de tiempo con gráficas de caja; con la Prueba Shapiro-Wilks, se analizaron las variables para saber cuáles son las que siguen una distribución potencialmente simétrica; a través de regresión lineal para conocer la relación que existe entre ellas; con Meteoblue se constató el calentamiento global de la zona estudiada; se analizó el desmantelamiento del parque fotovoltaico La Orejana, a través de economía circular. Los resultados obtenidos fueron: Temperatura, radiación solar y humedad relativa, son las variables que influyen en el funcionamiento de las celdas solares. El parque solar fotovoltaico La Orejana, ayudará a reducir las emisiones de GEI para cumplir lo pactado en el Acuerdo de París, disminuyendo el consumo de combustibles fósiles en la producción de electricidad y acatando los lineamientos de la economía circular, se evitará la contaminación procedente de los residuos de los paneles fotovoltaicos. Hermosillo, es un lugar idóneo para la instalación de parques fotovoltaicos, con criterios de protección ambiental, social y medidas de mitigación, reduciéndose los impactos adversos con economía circular.

Palabras claves: Parque solar fotovoltaico La Orejana, Estación Meteorológica Chipilon, variables meteorológicas, Economía Circular.

ABSTRACT

Hermosillo has a privileged geographical location, due to its high solar irradiation and its proximity to the United States (energy market); It is an ideal place for the development of photovoltaic solar projects. 60% of households in Hermosillo present economic vulnerability to be able to pay for their electricity consumption; Photovoltaic energy is clean, renewable and cheap. The statistical analysis of the variables was made: relative humidity, temperature, solar radiation, precipitation and wind speed, to determine their degree of incidence in the generation of energy from the photovoltaic solar plant La Orejana. It is a quantitative, descriptive study, with a non-experimental, transactional design. The meteorological variables were analyzed with their annual mean and represented in bar graphs, time series were made with box graphs; with the Shapiro-Wilks Test, the variables were analyzed to find out which ones follow a potentially symmetrical distribution and through linear regression to find out the relationship between variables; with Meteoblue, global warming in the area was verified; the dismantling of La Orejana photovoltaic solar park was analyzed through the circular economy. The results obtained were: Temperature, solar radiation and relative humidity, are the variables that influence the operation of the solar cells. La Orejana photovoltaic solar park will help reduce GHG emissions to comply with the provisions of the Paris Agreement, reducing the consumption of fossil fuels in the production of electricity and complying with the guidelines of the circular economy, minimize the pollution by photovoltaic panel waste. Hermosillo is a privileged place for the installation of photovoltaic parks, with environmental and social protection criteria and mitigation measures, reducing adverse impacts with a circular economy.

Keywords: La Orejana photovoltaic solar park, Chipilon Meteorological Station, meteorological variables, Circular Economy.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles tiene implicaciones de índole social, ambiental y económica (Rabaia *et al.*, 2021). Los combustibles fósiles, son recursos no renovables, que han necesitado miles de años para su formación, existen en cantidades limitadas, motivo por el cual, varios investigadores han estimado que su agotamiento está acelerándose (Kazimierski y Argento, 2021). Los principales productores de petróleo en América Latina y Caribe, son: Venezuela, Brasil, México y Ecuador (ENI, 2022).

La extracción de petróleo y gas natural, va en aumento; introduciéndose técnicas extractivas de fracturación hidráulica o fracking, que consiste en romper grandes rocas que se encuentran en las profundidades del subsuelo para extraer combustibles fósiles, mediante la inyección de millones de litros de agua mezclados con productos químicos tóxicos. El fracking, es caro, contaminante y peligroso, utiliza grandes cantidades de agua y contamina el agua circundante, afecta la salud, propicia terremotos y contamina el aire durante la perforación de las rocas (Zhang *et al.*, 2021). El fracking ha ido desplazado al pico petrolero, que es, el momento de máxima extracción, haciéndola más difícil y costosa, disminuyendo el petróleo hasta su agotamiento (Earls, 2015); Todo ello, aunado a las evidencias científicas del cambio climático, ha propiciado un consenso entre los países para reducir del consumo de energías fósiles (Bardi 2019).

Es necesaria la transición hacia la descarbonización de la economía a nivel global. Las múltiples advertencias sobre el pico del petróleo, así como la cada vez mayor tendencia hacia el uso de energías renovables, invitan a considerar un nuevo modelo energético, sustentable, amigable y ambientalmente inteligente (Matteo, 2022).

El calentamiento global, es el aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre, observado desde finales del siglo XIX. Su principal causa es la emisión de gases efecto invernadero (GEI) que resultan de las actividades humanas como la combustión de combustibles fósiles (carbón, gasolina, gas natural y petróleo) y la deforestación (Valderrama, 2018).

En el periodo comprendido entre los años 1880 a 2012, la temperatura global se ha incrementado entre 0.8 a 1.2°C (IPCC, 2018).

El actual modelo energético, ponen en riesgo el equilibrio ambiental, por la gran cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (CEPAL, 2022), los cuales desde 1760, fecha de inicio de

la Revolución Industrial, han ido en aumento.

La Revolución Industrial propició que los países tuvieran el doble de habitantes porque aumentó su esperanza de vida, originándose ciudades más pobladas (Ferrer, 2022).

El uso de ferrocarril y buques de vapor, propiciaron el aumento del comercio, creció la renta per cápita y el consumo por habitante. (Crespo et al, 2022).

Los gases efecto invernadero son: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, perfluorcarburo, hidrofluorocarbonados y hexafluoruro de azufre (Arévalo, 2018).

En el año 2019, el CO₂ alcanzó su más alta concentración en la atmósfera terrestre en los últimos 2 millones de años, con un promedio de 410 ppm; las concentraciones de CH₄ y N₂O fueron las más altas registradas en 800,000 años, con 1866 partes por billón y 332 partes por billón, respectivamente (IPCC, 2021).

A nivel mundial, el 70.4% de la emisión de GEI proviene del sector de energía y en América Latina el 46% proviene de este sector. De ese 46%, el 75% es de origen fósil y el 25% de la energía renovable. De las energías renovables, las de mayor crecimiento son: hidroeléctrica, solar y eólica. (Bárcena *et al.*, 2020), (Freire *et al.*, 2021).

Hay que hacer hincapié que durante la pandemia de COVID-19, se redujeron las emisiones de CO₂, por la desaceleración de la economía a nivel mundial, sin embargo, las emisiones volvieron a incrementarse los primeros meses del 2021 (OCDE, 2020); (WMO *et al.*, 2021).

Para contrarrestar las problemáticas del Cambio Climático, los países a través de sus gobiernos, han desarrollado múltiples acciones, tales como: planes estratégicos, protocolos y acuerdos gubernamentales, entre los que se encuentran: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1994), el Protocolo de Kyoto (1998), la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015), el Acuerdo de París (2015) y la Declaración Ministerial de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente llamada Hacia un Planeta sin Contaminación (2017).

Organizaciones internacionales como ONU, FAO, OECD, BID, BM, están realizando cambios en la matriz energética mundial, y después de una serie de investigaciones, les han indicado a los países que es conveniente que vayan introduciendo de manera paulatina, fuentes de energías renovables que sustituyan los métodos convencionales de producción de energía (Heredia, 2019).

La Agenda 2030 es un plan de acción global, basado en la sostenibilidad, cuyo objetivo es el de obtener el bienestar del planeta y de las personas, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que se

encuentran especificados en la Agenda 2030, retoman los Objetivos del Desarrollo del Milenio, que tienen por objetivo asegurar el progreso social y económico sostenible, así como la paz universal y la libertad, para vivir dentro de una sociedad más justa e inclusiva (ONU, 2015).

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible que se encuentran vinculados a la descarbonización prevista en el Acuerdo de París, son los siguientes: El objetivo 7° que garantiza la energía de manera: accesible, fiable, sostenible y moderna; el objetivo 9°, nos indica que se deben construir infraestructuras resilientes, promueve la industrialización inclusiva y sostenible y fomenta la innovación; el objetivo 11° establece que las ciudades y los asentamientos humanos deben de ser: inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; el Objetivo 12° garantiza las modalidades de un consumo y producción sostenibles; el Objetivo 13° se enfoca en adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos adversos (ODS, 2017).

Los modelos desarrollistas basados en el petróleo, ponen en riesgo los Objetivos del Desarrollo Sostenible y la estabilidad política de los países (Peters, 2022).

La Agenda 2030 y el Acuerdo de París, especifican que los sistemas energéticos son un factor esencial en la lucha contra el cambio climático.

La energía solar fotovoltaica, tiene múltiples ventajas de tipo: económicas, sociales y ambientales (Fragoso-Altamirano, 2020). Es importante considerar que debido al aumento poblacional, se ha estimado que para el año 2050, el 50% del consumo total de energía, será usada en la industria y el transporte (Russo, *et al.*, 2022).

La política energética, está relacionada con la disposición geográfica de los recursos naturales, lo cual marca su importancia geopolítica, las relaciones comerciales con otros países, con el bienestar de la población y con los efectos del cambio climático (Amirov-Belova, 2022).

La transición energética, del modelo energético mexicano, no solo se hará presente con la adquisición de nuevas tecnologías, sino también con cambios tanto en las políticas públicas, la infraestructura energética, los análisis del comportamiento del mercado y el impacto ambiental, todo ello brindará: seguridad, eficacia y eficiencia en el suministro de energía.

La tecnología solar es limpia, no contamina, no emite gases efecto invernadero ni contaminantes derivados de los hidrocarburos y apoya la autosuficiencia energética de los países (OECD, 2020).

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ha indicado que en el año 2015, la población de México fue de 119,530, 753 habitantes, la población de Sonora fue de 2, 850,330 habitantes, representando el 2.4% de la población de México. En el censo de 2020, México tuvo

una población de 126, 014,024 millones de habitantes de las cuales Sonora, tiene una población de 2, 944, 840 lo cual representa el 2.3 % de la población nacional y se ha proyectado que para el 2050 serán 150 millones de habitantes en México y en Sonora 3,851, 223 habitantes, lo cual significa un mayor consumo de electricidad, en todos los ámbitos. (INEGI, 2020), (CONAPO, 2020).

El aumento de la población y de la actividad económica en Sonora, han conducido a un aumento en la generación de gases efecto invernadero. Aunado al crecimiento demográfico se encuentra la demanda energética.

México ocupa el tercer lugar, entre los cinco países que reciben mayor radiación solar a nivel mundial, por su excelente ubicación en el área del cinturón solar (Twenergy, 2019). Sonora, recibe 2,600 GWh/año, equivalentes al 8.39% del potencial solar de la República Mexicana, recibiendo 45% más radiación solar que el promedio nacional. Hermosillo, recibe radiación global solar de aproximadamente 5.5 Wh/m²/ día, siendo un sitio privilegiado para la generación de energía solar fotovoltaica. Con la radiación solar que recibe el 1 % de Sonora se podría generar energía suficiente para todo México, además la radiación solar es una fuente de energía potencialmente ilimitada (Sánchez, 2014).

El municipio de Hermosillo, Sonora, se ubica, a 246 kilómetros al suroeste de la frontera entre México y Estados Unidos, siendo éste, uno de los mayores mercados de energía solar, por lo que su localización geográfica, lo hace atractivo para la exportación de energía; así mismo, la creación de parques solares fotovoltaicos, ayudará tanto a la creación de empleos como a una mayor recaudación fiscal.

La descarbonización de la economía se logra: con eficiencia, produciendo energía más barata, menos contaminante y con una cultura de concientización de ahorro de energía.

En México, los sectores que más contribuyen a las emisiones de GEI son: el de generación de electricidad, uso del petróleo, gasolinas, gas y el transporte; estos sectores aportan 51% de las emisiones nacionales de GEI. En el sector eléctrico, es necesario duplicar la participación de las energías renovables para el 2030, reducir la participación de otras tecnologías basadas en los combustibles fósiles, la creación de un marco regulatorio eficaz y la formulación de mejores mecanismos de financiamiento que incentiven el desarrollo de las tecnologías de generación y almacenamiento de electricidad provenientes de energías renovables.

Las condiciones meteorológicas, afectan la producción de energía fotovoltaica; motivo por el cual, es importante conocer su comportamiento, para realizar predicciones estadísticas y así poder

obtener el máximo aprovechamiento de energía fotovoltaica y que su suministro sea constante.

La Economía Circular es un nuevo modelo de producción y consumo que pone en el centro al ser humano, para que se mantenga en equilibrio, económico, social y ambiental (Arroyo, 2018).

Las celdas solares al final de su vida útil, dejan residuos contaminantes tales como: vidrio, plomo, cadmio, antimonio, entre otros, que contaminan y ponen en riesgo la salud de los seres vivos.

La Economía Circular es una opción viable que contribuye con la sostenibilidad ambiental y se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 1, 6, 7, 8, 9, 11, 12 y 13, 17. (ONU, 2021); (Espaliat, 2017); (Zottele y Nájera, 2022).

La transición energética de combustibles fósiles a energías renovables, deberá beneficiar a los sectores de las poblaciones más vulnerables y desfavorecidos, porque es ahí donde más se evidencian los impactos negativos del cambio climático; las energías renovables deben reducir la pobreza energética y generar un sistema de consumo de energía más equitativo y democratizar las fuentes de generación de energía (Angel, 2016).

1.1. Planteamiento del Problema.

El nivel del consumo de energía en México se encuentra relacionado a su economía (crecimiento económico, la distribución del ingreso, la pobreza, etc.), su geografía, su clima, la ubicación de las ciudades y los centros industriales. México presenta un desarrollo medio en el consumo per cápita de energía (1.488 kg de petróleo por habitante en el 2014) estando por debajo de la media mundial (1.918 kg), por debajo de Argentina (2.015 kg), Chile (2.028 kg) e Israel (2.777 kg). El consumo per cápita de México representa el 22% del de los Estados Unidos, 36% del nivel promedio en la OCDE y 46% de los países de la Unión Europea (Banco Mundial, 2022).

Desde el año 2009, PEMEX ha refinado un total de 1.3 millones de barriles de petróleo diarios. La refinación de petróleo bajó a menos de 0.8 millones de barriles diarios en 2017 (Pemex, 2017), lo cual se debió a varios factores, como: la falta de mantenimiento, la baja disponibilidad de petróleo de la calidad requerida para las refinerías del país, así como la falta de suministro de insumos importantes.

En México desde el 2016, el balance de exportaciones e importaciones de hidrocarburos y sus

derivados es negativo; en 2017 se gastaron 500 mil millones de pesos en la importación de gasolina y diésel y solo se produjeron 425 mil millones de pesos, con la exportación, de petróleo crudo (Pemex, 2017).

El mayor hallazgo de los últimos 25 años de petróleo fue el de Ixachi en Veracruz que aportó aproximadamente 100 millones de barriles de petróleo crudo equivalente en reservas probadas, y 370 millones de barriles de reservas probadas, probables y posibles, teniendo un aumento del 1.5% en las reservas del país (CNIH, 2019).

México tiene un déficit energético porque no ha logrado satisfacer el aumento de la demanda energética. El 80 % del combustible utilizado en varias centrales de electricidad, proviene de Estados Unidos, motivo por el cual, el país continúa estando en situación vulnerable ante la fluctuación del precio del petróleo y una serie de problemas que se encuentran fuera de su control, como la tormenta invernal de Texas ocurrida en febrero de 2021 que dejó a México con apagones, que afectaron a 5.9 millones de personas, considerándose como un problema de seguridad nacional. (Marmolejo y Garduño, 2021).

La República Mexicana, tiene 17,000 kilómetros de oleoductos y gasoductos, su infraestructura energética atraviesa por sus estados más conflictivos, producto de enfrentamientos entre grupos criminales relacionados con el robo de combustible o huachicol. En el 2006 se detectaron 213 tomas clandestinas. En 2017 se contabilizaron 10.3636, entre 2011 y 2016 ya se habían localizado más de 20.000. (Aroche, 2018); (PEMEX, 2017); (Estrada *et al.*, 2022).

El robo de combustible afecta a la paraestatal Petróleos Mexicanos, cuyas pérdidas suman más de 30,000 millones de pesos y se han cerrado muchas gasolineras por irregularidades (Vieira, 2018). Nájjar (2019) ha considerado que las pérdidas han sido por 60,000 millones de pesos al año.

INEGI (2020) indicó que en Hermosillo, el 32.8% de su población se encuentra inconforme con el servicio de alumbrado público y muchos hogares que se encuentran situados en la periferia de Hermosillo, no cuentan con electricidad y aun con el subsidio federal, los hermosillenses tienen problemas económicos para pagar sus recibos de luz (CONEVAL, 2020).

De 1950 al 2020 la población de México ha aumentado el cuádruple; en 1950 había 25.8 millones de personas, en 2020 fueron 126 millones (INEGI, 2020).

En la última década, del 2010 a 2020, la población se incrementó en 14 millones de habitantes, lo cual va aunado el aumento del consumo de combustibles. (INGI, 2020).

El Balance Nacional de Energía de México, ha indicado que, el consumo total de energía ha crecido

37.5% entre 1990 y 2019, teniendo el 208.5%, el consumo de electricidad, las gasolinas y naftas 53.4% y el diésel 46.9%. (SENER, 2021).

El precio de la gasolina en México ha sido 31% más cara que en Estados Unidos en el primer trimestre de 2023, siendo de 4.42, dólares por galón y en Estados Unidos 3.42, los precios en México suelen ser más caros debido a la logística y por ser un país que importa la mayor parte de la gasolina que consume.

El consumo de combustibles fósiles, afecta la salud, aumenta la pobreza energética y agrava la crisis climática, con severas consecuencias sociales impactando en los derechos humanos.

El cambio climático tiene graves repercusiones en la economía, medio ambiente y la sociedad; por sequías, falta de alimentos, deshielos de los glaciares, pérdida de biodiversidad, climas cada vez más extremos, pandemias, entre otras (Bárcena *et al.*, 2020); (Bárcena *et al.*, 2018).

La energía proveniente de los combustibles fósiles, es un tipo de energía que contamina el ambiente con la emisión de gases efecto invernadero (GEI) ocasionando daños a la salud, tales como: problemas visuales, del olfato, psicológicos, cáncer de piel, cáncer ocular, dermatitis, asma, aterosclerosis, enfermedades respiratorias agudas, entre otras (Arduso *et al.*, 2019).

China, en el año 2018 al reducir sus emisiones de GEI, salvó la vida de 2.4 millones de personas. (Vohra *et al.*, 2021).

El cambio climático, tiene repercusiones en los fenómenos meteorológicos extremos que afectan principalmente a las comunidades más vulnerables. En México, 17.4 millones de personas viven en zonas de riesgo; estados como Zacatecas y Guanajuato, enfrentan problemas de escasez de agua, los estados de Yucatán y Chiapas, están expuestos a inundaciones por el aumento del nivel del mar. El Gobierno mexicano estimó que el costo de los fenómenos climáticos extremos fue de 338 mil millones de pesos entre 2001 y 2013 y afectó a 2.5 millones de personas (INECC, 2015). Se han desarrollado modelos matemáticos de predicción meteorológica para saber la cantidad de energía fotovoltaica que se va a generar, porque la energía fotovoltaica presenta un desempeño fluctuante, influenciado por: nubosidad, lluvias, granizadas, nevadas, etc. Si se mejora por medio de energías renovables, la situación actual del mercado eléctrico mexicano, se cubriría un mayor porcentaje de la demanda eléctrica y bajaría el precio de la electricidad. Sin embargo, es necesario estar consciente y vislumbrar la gran contaminación ambiental que se producirá por los residuos de las celdas solares fotovoltaicas, si no se tiene un manejo adecuado en su etapa final de su vida útil.

1.2. Justificación

La energía indica el grado de desarrollo alcanzado por el hombre (Gómez Rodríguez *et al.*, 2021). En 2018, el consumo mundial de electricidad fue de 24.7 millones de GWh. México consumió 290,100 GWh ocupando la posición 14 a nivel mundial (IEA, 2021).

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2020, llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Hermosillo contó con 936,263 habitantes en 2020, su población creció un 19.3% comparado con el 2010 que fue de 784,342 habitantes, teniendo un crecimiento anual de 1.8%. En Hermosillo vive el 31.8% de la población de Sonora que es de 2,944,840 habitantes (INEGI, 2020).

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), indicó que en los últimos seis años la generación de energía eléctrica en México creció 10.3%, incrementándose de 302.8 terawatts-hora (TWh) en 2017 a 333.8 TWh en 2022. Si aumenta la población, en consecuencia, también aumenta el consumo y la demanda de electricidad (CENACE, 2022).

Entre 2021 y 2022 la generación de energía limpia en México, se redujo en menos 1.8% pasando de 88.8 a 87.2 TWh, lo cual ha sido atribuido a la disminución de la generación de energía solar fotovoltaica en menos 4.6%, y eólica en menos 3.6%. En el año 2022, la generación de electricidad por medio de energía renovable fue de 26.1% y en el 2021, de 27.5%, con una disminución de 1.4 puntos porcentuales, estando por debajo de las metas establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024) y en el Acuerdo de París donde se acordó que en 2024, los países firmantes del Acuerdo tendrían un 35% de generación eléctrica mediante tecnologías limpias y renovables. (IMCO, 2022), (PND 2019-2024).

La capacidad eléctrica instalada en México en 2020, fue de 83.1 GW. Los combustibles fósiles representaron el 64.50% (53.6 GW), la energía hidroeléctrica 15.7% (12.6 GW), eólica 7.82% (6.5 GW) y la energía solar 6.19% (5.1 GW), (OLADE, 2021).

El recurso solar en Sonora es 2,600 Wh/día, lo cual es equivalente al 8.39% de la potencia solar nacional. Hermosillo recibe 45% más de radiación solar que la media nacional (COEES-Sonora, 2017).

En Hermosillo, se cuantificó, que de 996,188 habitantes en el municipio, 989,134 cuentan con servicio de energía eléctrica, alcanzando una cobertura del 99.29% de electrificación, 7,054

habitantes no cuentan con el servicio de energía eléctrica, población que se encuentra distribuida en 136 localidades, tanto rurales como urbanas. La electrificación en las zonas rurales de Hermosillo es de 97.77% y en las localidades urbanas de 99.40%. (SMPD, 2022).

Hermosillo es considerado por el Banco Internacional de Desarrollo, como una ciudad emergente, sostenible y con una planeación innovadora (BID, 2017); (BID, 2019).

Al disponer de energía fotovoltaica se tienen condiciones seguras, confiables, accesibles a precios razonables de electricidad, dentro de un contexto de sustentabilidad ambiental, los países pueden alcanzar su soberanía energética, clave para su economía y seguridad nacional (Lahoud, 2018).

La crisis petrolera de 1973 y el calentamiento global, han propiciado el incremento del uso de energía solar fotovoltaica, disminuyendo la huella de carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación ambiental. La base de la descarbonización en México está explícita en su marco jurídico y en las estrategias de las políticas públicas, para la reducción de las emisiones de carbono, respetando el derecho que tiene su población a tener seguridad en el suministro de energía.

Justificación de la sustentabilidad energética. La sustentabilidad energética, considera al medio ambiente como elemento que contribuye al desarrollo social, ambiental y económico de un país; para mejorar la calidad del medio ambiente se ha considerado el aumento gradual de las energías renovables, que ayudan en la reducción de emisiones de GEI, ofrecen mayores fuentes de empleo, mayor demanda de bienes y servicios y el mejoramiento de la infraestructura eléctrica. De acuerdo a SENER en el primer semestre de 2017, México generó el 20.82% de su energía eléctrica a través de fuentes limpias, generándose 33,274.31 GWh, lo que representa un aumento del 8.79% con respecto al primer semestre de 2016 (SENER, 2017).

Justificación tecnológica. Los parques solares fotovoltaicos, incrementan la eficiencia del sistema eléctrico mediante una producción distribuida y garantizan el suministro de electricidad, en lo cual, se irá avanzando e innovando de acuerdo a las investigaciones realizadas.

Justificación ambiental. La producción de energía eléctrica en México, proviene principalmente de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) que son la fuente principal de la generación de gases efecto invernadero (GEI), los cuales causan: acidificación y contaminación del agua, deterioro de la calidad del aire, daño a las capas superficiales de la corteza terrestre, entre otros efectos negativos. La energía solar fotovoltaica, ayuda a combatir la problemática del cambio climático a nivel global, al reducir las emisiones de GEI, a la atmósfera. En Sonora, de acuerdo al

Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC); que ayuda a identificar las regiones, sectores o poblaciones vulnerables, para poder realizar el diseño, focalización e implementación de procesos de adaptación, con su correspondiente monitoreo y evaluación, ha indicado que de los 72 municipios de Sonora, 65 son vulnerables al cambio climático, la vulnerabilidad se encuentra calificada de los niveles 1 al 6. Los municipios de Sonora, con mayor índice de vulnerabilidad al cambio climático con nivel 4 son: Bácum y San Miguel de Horcasitas, con nivel 3, se encuentran 13 municipios, en el nivel 2 se encuentran 33 municipios y en el nivel 1, se encuentran 17 municipios, la lista de los municipios y su nivel de vulnerabilidad se encuentra en la sección de anexos de esta tesis (INECC, 2021).

Justificación económica. El sector energético es fundamental para el desarrollo de la economía mexicana, puesto que, representan el 6.7 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional; 5% son del sector de hidrocarburos de los cuales 4.2 % corresponden a ingresos petroleros y el 0.82% es por los impuestos de hidrocarburos, el 1.7% restante le corresponde al sector eléctrico. El PIB puede incrementarse con una mayor participación de energías renovables, las cuales, mitigarían las emisiones de GEI, propiciarían la creación de más empleos, crecería la infraestructura del sector eléctrico contribuyendo al crecimiento de la economía, aumentaría la demanda de bienes y servicios, se cubriría la creciente demanda de electricidad y podrían llegar a reducirse sus costos, evitándose importar energía de otros lugares, con costos elevados. (Martínez-Dalmau, 2014).

La producción de energía fotovoltaica abarata los costos de la electricidad y propicia que la red eléctrica llegue a más lugares, sobre todo a los más alejados como las zonas rurales; así mismo, el gobierno federal no otorgaría los subsidios para el pago del consumo de luz, sobre todo a los estados del norte de la república mexicana y ese dinero podría ser destinado a programas sociales, de infraestructura, entre otros.

El parque solar fotovoltaico La Orejana, no cuenta con un modelo matemático de producción de energía de acuerdo a las condiciones meteorológicas donde se encuentra ubicado, contar con uno, le ayudaría a mejorar su eficiencia. La potencia producida por la energía fotovoltaica, depende de las condiciones de irradiación solar y la temperatura a la que se encuentra (Chen, *et al.*, 2014).

Por el ámbito geográfico y los factores meteorológicos positivos de Hermosillo, la generación de energía solar fotovoltaica es una actividad atractiva para los inversionistas tanto nacionales como extranjeros.

1.3. Pregunta de Investigación

¿Cuáles son las variables meteorológicas que inciden en la eficiencia de los paneles solares del parque solar fotovoltaico La Orejana, en Hermosillo, Sonora?

1.4. Hipótesis

En el municipio de Hermosillo, específicamente en la región de La Orejana, coinciden favorablemente las variables de radiación solar, temperatura y humedad relativa, haciéndolo un lugar idóneo para la generación de energía solar fotovoltaica.

1.5 Objetivo General

Realizar el análisis estadístico de las variables meteorológicas de radiación solar, temperatura y humedad relativa, para determinar su grado de incidencia en la generación de energía en la planta solar fotovoltaica La Orejana.

1.5.1 Objetivos Específicos

- a) Analizar las variables meteorológicas: temperatura promedio, radiación solar, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento, de la estación meteorológica Chipilon con los datos del periodo 2014-2021, a través de gráficas de barras de la media de las variables de cada año estudiado y así mismo, por medio de gráficas de caja.
- b) Determinar el aumento de temperatura en la zona de La Orejana, por el calentamiento global

a través de Meteoblue.com.

- c) Estimar la normalidad estadística de los datos mediante la Prueba Shapiro-Wilks.
- d) Establecer la asociación entre las variables meteorológicas, por medio de regresión lineal.
- e) Vislumbrar la etapa de desmantelamiento del parque solar fotovoltaico La Orejana, mediante la Economía Circular.

1.6 Estructura de la Tesis.

La presente tesis de maestría se encuentra estructurada de la siguiente forma:

-Introducción: En este apartado se presentan: el planteamiento del problema, justificación, hipótesis, objetivo general, objetivos específicos y la secuencia de la estructuración de la tesis.

-Marco Contextual: Se presenta la información referente a la localización geográfica del lugar de estudio, su geología, edafología, topografía, aguas superficiales, región hidrológica, cuenca y subcuenca, sismicidad, áreas naturales protegidas, factores abióticos y bióticos, estaciones meteorológicas, contexto social, político y cultural.

-Marco Referencial: Se especifican algunos trabajos de investigación relacionados con el tema; así como la bibliografía referente a la energía fotovoltaica a nivel mundial, nacional, estatal y municipal.

-Marco teórico: En este apartado se indican las bases teóricas en las que se basa la investigación llevada a cabo en esta tesis así como los conceptos esenciales de la investigación y la bibliografía relevante sobre energía fotovoltaica, economía circular y el impacto ambiental en la etapa de desmantelamiento del parque solar fotovoltaico La Orejana.

-Marco Metodológico: Muestra la metodología utilizada, se describen el método y las técnicas de investigación, la recolección de los datos y como se realizó el análisis estadístico de los datos.

-Resultados. Se expone e interpreta la información obtenida de la investigación.

-Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros de Investigación. En las Conclusiones se describen los resultados como evidencia de la relación entre el problema de investigación, la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos. En las Recomendaciones, se presentan una serie de propuestas de recomendaciones relacionadas con la investigación, y en el apartado de

Trabajos Futuros de Investigación, se indican las investigaciones que se pueden realizar de acuerdo a bibliografía consultada.

-Bibliografía: Después de consultar bases de datos y leer cientos de artículos fueron seleccionados 229 artículos, la mayoría publicados entre los años 2018 al 2022.

-Anexos: Este apartado se encuentra conformado por: Conceptos relevantes, normatividad, planes y programas, instituciones para promover la inversión de energías renovables en México, los programas federales, las fuentes de financiamiento y los municipios de Sonora que presentan vulnerabilidad al cambio climático de acuerdo con el Atlas de vulnerabilidad del cambio climático.

2. MARCO CONTEXTUAL

En este apartado se especifica: la ubicación del lugar de estudio, el período de los datos recopilados de REMAS, la descripción del parque solar fotovoltaico La Orejana, la Red de Estaciones Meteorológicas del estado de Sonora y Hermosillo, precisando que la presente investigación se trabajó con los datos de la estación Chipilon, (de acuerdo a INEGI, es la más cercana a La Orejana), los factores bióticos y abióticos, geología, edafología, región hidrológica, la cercanía o lejanía de las áreas naturales protegidas a nivel federal, estatal y municipal, su contexto social, político, cultural y la importancia de la economía circular en la etapa de desmantelamiento del parque solar fotovoltaico La Orejana.

2.1 Energía Fotovoltaica en México

México se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional, zona que es denominada, el cinturón solar, cuyas características resulta ideales para el aprovechamiento de la energía solar, la irradiación global media diaria, es de alrededor de 5.5 kWh/m² /d., en la región del noroeste de México, la radiación excede los 8 Kwh/m² en primavera y verano (Twenergy, 2019). Hay que tomar en consideración que la irradiación promedio diaria cambia a lo largo de la república mexicana y que depende del mes y de la hora del día, pudiendo alcanzar valores superiores a los 8.5 kWh/m² (SENER, 2012).

La radiación solar que recibe México, para la producción de energía fotovoltaica es 60% superior a las que reciben Alemania y España, países que tienen en su infraestructura, mayor cantidad de instalaciones fotovoltaicas que las que tiene México (CENACE, 2021).

A continuación se muestra el mapa de la República Mexicana, proporcionado por Solar Gis, donde se muestra la Irradiación Horizontal Global, mostrando al estado de Sonora, como uno de los estados con mayor radiación solar.



Figura 1. Radiación solar de México
Fuente: Solar Gis (2019)

El territorio de la República Mexicana es 5.5 veces mayor que el de Alemania y tiene una radiación 5 veces superior, sin embargo, la energía fotovoltaica generada en Alemania es 44.2 veces superior que la generada en México (IRENA, 2022).

México tiene un territorio 4.9 veces menor que China, pero cuenta con una radiación solar promedio 1.2 veces mayor, sin embargo, la energía solar generada en México, equivale al 0.1% de la generada en China (IRENA, 2022).

A nivel mundial la generación de energía solar siguió aumentando a un ritmo constante del 23 % (IRENA, 2022).

En México, de acuerdo a la información Statista (2023) la capacidad instalada para la generación de energía solar mostró un incremento constante en los últimos años. En 2021, se alcanzaron los 7.040 megavatios, lo que representó un crecimiento de alrededor del 25,4% en relación al 2020.

2.1.1 La Energía Fotovoltaica en Sonora

El estado de Sonora tiene una generación de energía de 3,140 MW, aportando el 4.2% del sector eléctrico de México, de los cuales el 96.4% de la capacidad instalada es de tecnologías basadas en combustibles fósiles y solo el 5.3% pertenece a tecnologías de energías renovables.

Sonora tiene 180,000km² de territorio irradiado por el sol, haciéndolo un territorio idóneo para proyectos de energía solar fotovoltaica.

Los principales municipios de Sonora que tienen las condiciones para generar energía fotovoltaica son: Hermosillo, Guaymas, Obregón, Navojoa, Huatabampo y Álamos (INEGI, 2020).

Sonora cuenta con 1,250MW de capacidad solar instalada (INEGI, 2021).

De acuerdo con información proporcionada por la Comisión de Energía del estado de Sonora, se encuentran funcionando los siguientes parques fotovoltaicos (COEES, 2021).

Parque Solar de IENOVA en Caborca con una capacidad de 110MW.

Parque solar ENGIE en Caborca, con una capacidad de 99MW.

Parque solar AT-SOLAR (Acciona-Biofields) en Puerto Libertad con una capacidad de 180MW

TUTO ENERGY en Puerto Libertad con una capacidad de 137.5 MW.

Parque solar LA OREJANA (Zuma Energy) Costa de Hermosillo-Bahía de Kino con una capacidad de 125MW.

IBERDROLA (Parque solar Iberdrola) en Hermosillo, Sonora 100MW.

BLUEMEX-POWER 1(Internovum/EDF) Empalme, Sonora 90MW.

CANADIAN-SOLAR en Tastiota, 100MW.

EL MAYO en Tastiota, 99MW.

X-HELIO en Navojoa con una capacidad de 220MW.

A continuación se muestra el mapa del estado de Sonora, con la ubicación, nombre y producción de sus parques solares fotovoltaicos.

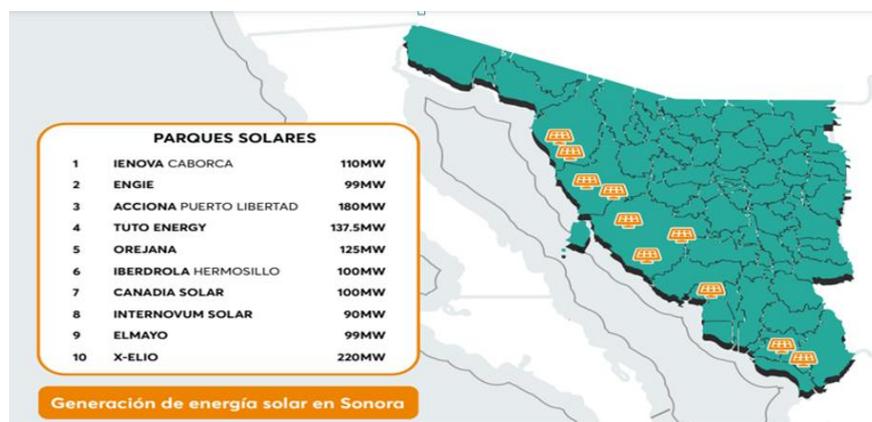


Figura 2. Ubicación de los parques solares fotovoltaicos en Sonora
Fuente: COEES (2021)

2.1.2. Plantas Solares Fotovoltaicas en Hermosillo.

Las plantas solares fotovoltaicas que se encuentran ubicadas en el municipio de Hermosillo Sonora son: Parque solar fotovoltaico La Orejana con una capacidad de 125, Iberdrola con una capacidad de 100MW y Canadian Solar en Tastiota con una capacidad de 100 MW.

Se presenta un cuadro con el nombre, ubicación y capacidad de producción total de energía de los parques solares fotovoltaicos ubicados en Hermosillo.

Cuadro 1. Parques de energía solar fotovoltaicas en Hermosillo

PARQUE SOLAR	UBICACIÓN	CAPACIDAD TOTAL (MW)
Parque solar La Orejana	Cerca de Bahía de Kino	125
Iberdrola	Hermosillo	100
Canadian Solar	Tastiota	100

Fuente: COEES (2021).

2.2 Ubicación del estado de Sonora

Sonora, se sitúa al norte a 32°29' 38", al sur 26°17'49", al este 108°25'27", al oeste 115°03'11" del meridiano de Greenwich. Su capital es el municipio de Hermosillo, colinda al norte con los Estados Unidos, al este con el estado de Chihuahua, al sur con el estado de Sinaloa y al oeste con el Golfo de California. Sonora está conformada por 72 municipios, su extensión territorial es de 179, 355 km² (9.1 % del territorio nacional), su población es 2, 944,840 habitantes, (2.3 % del país) de la cual 88 % es urbana y 12 % es rural; el nivel de escolaridad es de 10.4 años, (el promedio nacional es 9.7 años) y su aportación al PIB Nacional en 2020 fue de 3.6 % (INEGI, 2021).

Sonora cuenta con asentamientos humanos, pequeños y dispersos como los que se encuentran en los municipios de Ónavas y San Felipe de Jesús, 100 localidades urbanas concentran el 86% de la población y el 14% restante se encuentra en localidades rurales, esta distribución poblacional dificulta llevar la infraestructura básica para la provisión de servicios esenciales como el agua potable y energía eléctrica, ocasionando un rezago tanto en las comunidades rurales e indígenas.

De acuerdo a estudios realizados en la ONU, la solución más rentable, es la infraestructura energética descentralizada y de propiedad cooperativa para el abastecimiento de energía fotovoltaica. Las comunidades rurales deben de tener modelos participativos, tales como las cooperativas de energías sustentables, como empresas de propiedad social, es decir, les pertenecen a sus miembros quienes las dirigen, cuidan y administran, teniendo todos sus miembros la misma voz y voto, así como el reparto equitativo de sus beneficios (PEDS-2021-2027).

2.2.1. Ubicación de Hermosillo

El municipio de Hermosillo, colinda al norte con: Pitiquito, Carbó y San Miguel de Horcasitas, al este con Mazatán y Ures, al sur con los municipios de Guaymas y La Colorada y al oeste con el Golfo de California. Se ubica en la longitud Oeste $110^{\circ} 57' 38.35''$ y en la latitud Norte $29^{\circ} 06' 09''$ a una altitud de 200 metros sobre el nivel del mar. Hermosillo es conocido como la ciudad del sol, por su clima cálido extremo, sus principales actividades económicas son: la industria, el comercio y la ganadería (INEGI, 2021).

El Plan de Acción de Hermosillo del Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de acuerdo a la información proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad el consumo anual de energía eléctrica por hogar en Hermosillo en 2014 fue de 4,945.12 kWh el cual fue de un 25% más alto que el del resto de Sonora que fue de 3 mil 949 kWh y fue 3 veces más respecto del consumo promedio de los hogares en la República mexicana, que fue de 1,600 kWh. (BID, 2018).

El informe de Evaluación Rápida del Uso de la Energía, la evaluación del municipio de Hermosillo, Sonora, indicó que en el año 2016, los hogares de Hermosillo consumían el 4.2% del consumo total del estado de Sonora (ERUE-HILLO, 2019).

2.2.2. Ubicación del Parque Solar Fotovoltaico La Orejana.

El parque solar fotovoltaico La Orejana, se ubica en Hermosillo, Sonora, de acuerdo a INEGI tiene

la Clave geoestadística 260301975, se sitúa en la Latitud Norte a $29^{\circ}11'20.193''$ y en la Longitud Oeste $-111^{\circ}43'35.060''$, pertenece al área rural, se encuentra en la carta topográfica llamada el Batamote H12C39, en la Región Hidrológica 9 Sonora Sur; Cuenca Rio Sonora, a nivel Cuenca D del Rio Bacuachí (Subcuenca). (CONAGUA, 2020); (INEGI 2021).

Su ubicación estratégica le proporciona excelentes condiciones de radiación solar, los cuales se sitúan entre los 6-8 kwh/m², siendo de los más altos de la república mexicana y su capacidad energética es suficiente para abastecer de electricidad a 220,000 hogares; con su funcionamiento se reducirán 205,000 toneladas de CO₂ al año, lo cual, apoyará a la disminución de emisiones de GEI, México podrá cumplir con lo pactado en el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de Paris. (IRENA, 2020).

La energía renovable, es más ecológica cuando es producida donde se utiliza.

El Parque fotovoltaico La Orejana, cumple con los requisitos internacionales para su construcción, como son: la cercanía a Hermosillo (capital del estado), personal capacitado para el desempeño de sus labores, el tamaño apropiado (385-11-72Has), excelentes condiciones meteorológicas, mínimos índices de smog u otro tipo de contaminación, nulos incendios forestales, escasa vegetación forestal, sin montañas cercanas que le den sombra, clima apropiado con escasa nubosidad, pocos días de lluvia al año, escasas granizadas, no nieva, así mismo, rara vez se presentan tornados, trombas o ciclones, no se encuentra cerca de zonas arqueológicas, zonas de rituales o festividades de pueblos originarios, ni de áreas naturales protegidas (RAN, 2021); (SAGARPA, 2021).



Figura 3. El parque solar fotovoltaico La Orejana
Fuente: Google Earth 2022, fotografía obtenida de satélite Landsat 8.

2.2.2.1. Colindancias del predio de la planta solar fotovoltaica La Orejana.

-Norte y Noreste: Carretera pavimentada de Hermosillo a Puerto Libertad

-Sur: Camino de terracería al campo el Chalate

- Este: Con el predio Santo Niño, de la sucesión del señor Andrés Ibarra Gutiérrez

- Oeste: Campo Santa Rosita, su dueño es el Sr. Rosalío Ortiz.

El acceso al parque fotovoltaico La Orejana, se realiza por la carretera Hermosillo-Bahía Kino, hacia el Suroeste, pasando el poblado Miguel Alemán, aproximadamente a 24 Km, se encuentra la calle 36 norte, la cual se toma hasta llegar al Km 40.



Figura 4. Ubicación del parque solar fotovoltaico La Orejana.

Fuente: INEGI (2022)

2.2.2.2. Descripción del parque solar fotovoltaico La Orejana. La empresa Zuma Energía se fundó en 2014, con respaldo financiero de ACTIS y Mesoamérica. Es una empresa dedicada a la generación de electricidad a partir de fuentes renovables. En noviembre de 2017, después de haber sido uno de los proyectos ganadores de la segunda subasta de largo plazo, se construyó en Hermosillo, Sonora, el parque solar fotovoltaico La Orejana. Zuma Energía en el año 2020, se incorporó a State Power Investment Corporation.

El parque solar fotovoltaico La Orejana, tuvo una inversión de \$131 millones de dólares, siendo su financiamiento en conjunto con: Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext), Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras), Nacional Financiera (Nafin), y el Banco de Desarrollo de América del Norte (Nadbank). (SENER, 2019).

Su estatus legal es el de arrendamiento. El proyecto consistió en la instalación de 487,440 celdas solares, sobre estructura fija inclinada, se instalaron 5,567 seguidores y 55 inversores bajo la consigna de que producirá 353,466 MWh de energía renovable, lo que permitirá mitigar 205,000 toneladas de CO₂ al año y podría abastecer energía eléctrica a más de 220 mil viviendas. Se construyó una subestación, donde la CFE conecta su línea de transmisión así como su línea de media tensión. La energía generada, se interconecta con el sistema eléctrico de la CFE, en la línea de transmisión Puerto Libertad-Hermosillo- Aeropuerto. Su vida útil es de 25 años desde la entrada de su operación comercial (SAGARPA, 2021); (SENER, 2019).

Se construyó en un polígono de 338 hectáreas, las cuales fueron trabajadas en cuatro fases cada una de 100 hectáreas. Se realizó cambio de uso de suelo, porque inicialmente su estatus era el de terreno forestal; sus caminos internos se encuentran pavimentados para evitar la contaminación por polvo y cuenta con fosa séptica (SAGARPA, 2021).

2.2.2.3. Tipo de paneles solares. Se utilizaron paneles solares de 315 Wp de la firma JA-Solar del Modelo: JAP6-72-315, el tipo de célula es Si-mono, (Mono-Silicio), cuya longitud es de 1.956 metros, la anchura del panel es de 991mm, la superficie del panel es de 1.938 m² y el peso de cada panel es de 20 kg. (SAGARPA, 2021).

2.2.2.4. Geología del predio La Orejana. En la región se tienen rocas cuya edad varía desde el Paleozoico (Inició hace 542 millones de años) hasta el Holoceno (11,500 años hasta la actualidad). El terreno se encuentra constituido principalmente por rocas sedimentarias, ígneas y en una menor proporción rocas metamórficas (INEGI, 2021).

2.2.2.5. Edafología del predio La Orejana. La Edafología, es la ciencia que estudia la naturaleza y propiedades de los suelos; proviene del griego "edaphos" suelo y "logos" tratado. El suelo es una capa delgada situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre. Los análisis edafológicos, indican las características físicas, químicas y bioquímicas de los suelos (Porta *et al.*, 2019).

El predio La Orejana, tiene su suelo de origen aluvial. Su análisis edafológico indicó que es un suelo tipo Zo = YI/2 (INEGI, 2021).

A continuación se presenta un cuadro con el análisis edafológico del predio La Orejana.

Cuadro 2. Análisis edafológico del predio La Orejana

Tipo de suelo	Km ²
Cambisol	96.79 Km ²
Leptosol	32.63 Km ²
Calcisol	20.69 Km ²
Regosol	13.96 Km ²
Phaeozems	8.9 Km ²
Luvisol	1.13 Km ²

Fuente: INEGI (2021)

2.2.2.6 Aguas superficiales, Región Hidrológica, Cuenca y Subcuenca, de la región del parque solar fotovoltaico La Orejana. La región donde se ubica el parque solar fotovoltaico La Orejana, pertenece a la Región Hidrológica, Sonora Sur número 9 (RH-09), su Cuenca es la del Río Sonora, su Subcuenca es la del Río Bacoachi, en el Acuífero La Tinaja, con una superficie de 1,129.67 Km². La región hidrológica, Sonora Sur número 9 (RH-09). Cubre el 63.24% de la superficie del estado de Sonora, drenando sus aguas en el Golfo de California, estas aguas son captadas principalmente de las presas que se encuentran en su recorrido, pertenecientes a las zonas centro, sur y este de la entidad. Las cuencas de la región hidrológica RH-09, captan aguas de los ríos: Río Bacoachi (6.67%), Río Sonora (14.85%), Río Mátape (5.06%), Río Yaqui (29.73%) y Río Mayo (6.93%).

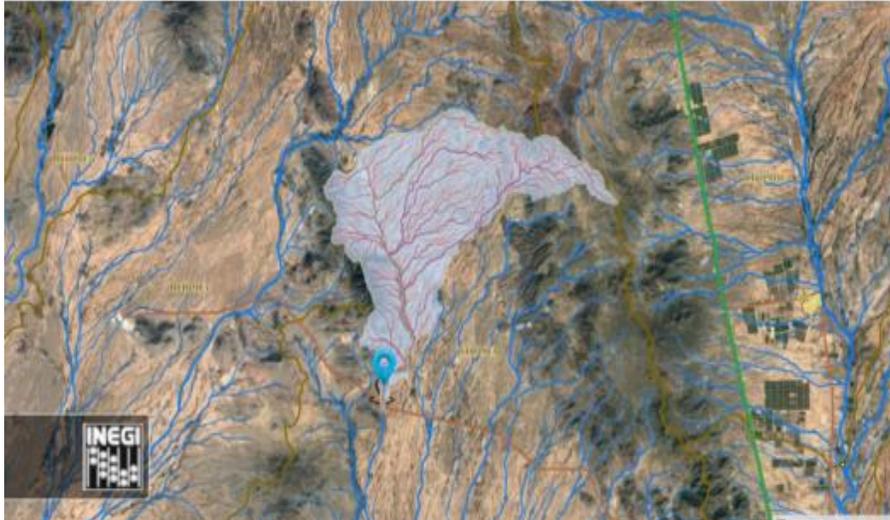


Figura 5. Región Hidrológica 9
Fuente: INEGI (2021).

Cuadro 3. Información de la Región Hidrológica 9

Identificador	855
Clave subcuenca	RH09Eb
Nombre de la subcuenca	La Manga
Tipo	Exorreica
Lugar donde drena	Mar
Total de descargas	27
Área Km ²	4089.46
Perímetro Km.	379.47 Km.
Densidad de Drenaje	1.6417
Longitud de flujo superficial promedio	0.152281172
Coefficiente de Compacidad	1.6734
Elevación Máxima de la Subcuenca(m)	880 m
Elevación mínima (m)	0
Pendiente media	2.7 %
Elevación Máxima de Corriente Principal(m)	659
Elevación Mínima de Corriente Principal (m)	0
Longitud de Corriente Principal (m)	129932 m

Fuente: INEGI (2021).

Una cuenca es un espacio de territorio a donde convergen los escurrimientos de ríos y arroyos, cuando la cuenca es abierta o exorreica su salida de agua es hacia el mar.

El Río Sonora, ocupa el tercer lugar de importancia en la región, por su extensión, las regiones que recorre y sus aportaciones de agua, las cuales son almacenadas y reguladas por la presa El Molinito, la cuenca del río Sonora, colinda al norte con el río San Pedro, en la región norte-

oriente, con el río Bavispe y el río Moctezuma, con afluentes del río Yaqui (nace de las afluentes de los ríos Bavispe y Aros), el río Bavispe, capta las aportaciones de agua de los ríos: Agua Prieta, Negro y Bacadehuachi, el río Moctezuma, a lo largo de su recorrido recoge varios tributarios y es de régimen intermitente; en la región sur-oriente, con el río Mátape y el arroyo La Bandera, en la región del norponiente colinda con la Cuenca del río Asunción y al sur-poniente con el río Bacoachi (INEGI, 2017).

Su cuenca baja tiene una afluyente con el río Zanjón, proporcionándole muy buen caudal en ciertas épocas del año, su cuenca alta es rica en yacimientos minerales, como: cobre, plata, y zinc, los cuales, aun estando en cantidades aceptables aún no han sido explotados (INEGI, 2017).

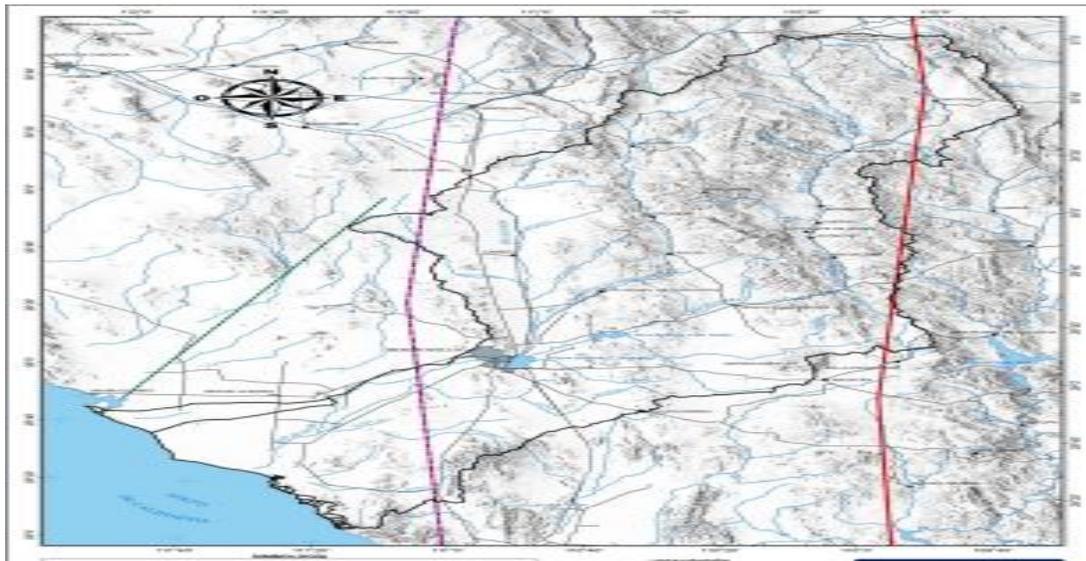


Figura 6. Cuenca del Río Sonora
Fuente: INEGI (2017)

2.2.2.7 Carta Topográfica El Batamote H12C39. Las cartas topográficas son documentos que representan, a escala, los elementos de la naturaleza y las obras hechas por el ser humano en la superficie terrestre. Contienen información sobre las corrientes y cuerpos de agua que se encuentran en ese sector, muestra la infraestructura, orografía e hidrografía, los canales de riego, curvas de nivel, instalaciones de telecomunicaciones, subestaciones eléctricas, linderos, pozos, repesos, saltos de agua, vialidades, carreteras, poblaciones, distribución geográfica, entre otras;

permitiendo analizar la situación del terreno a estudiar, los cambios y necesidades a nivel urbano y rural, para que puedan ser considerados en la planeación de los programas de gobierno. (INEGI, 2021).

La carta topográfica de El Batamote, se encuentra localizada en la región central del estado de Sonora, cubriendo una superficie de 899 Km²., del municipio de Hermosillo (INEGI, 2021).

El Batamote se encuentra en: Latitud 30° 34' 7" norte, Longitud -110° 31' 47" oeste, Altitud 1,302 metros (4,272 pies) .Es considerada una área nacional aun no explotada. (INEGI, 2021).

A continuación se presenta la carta topográfica a la cual pertenece el parque solar fotovoltaico, La Orejana, El Batamote H12C39.

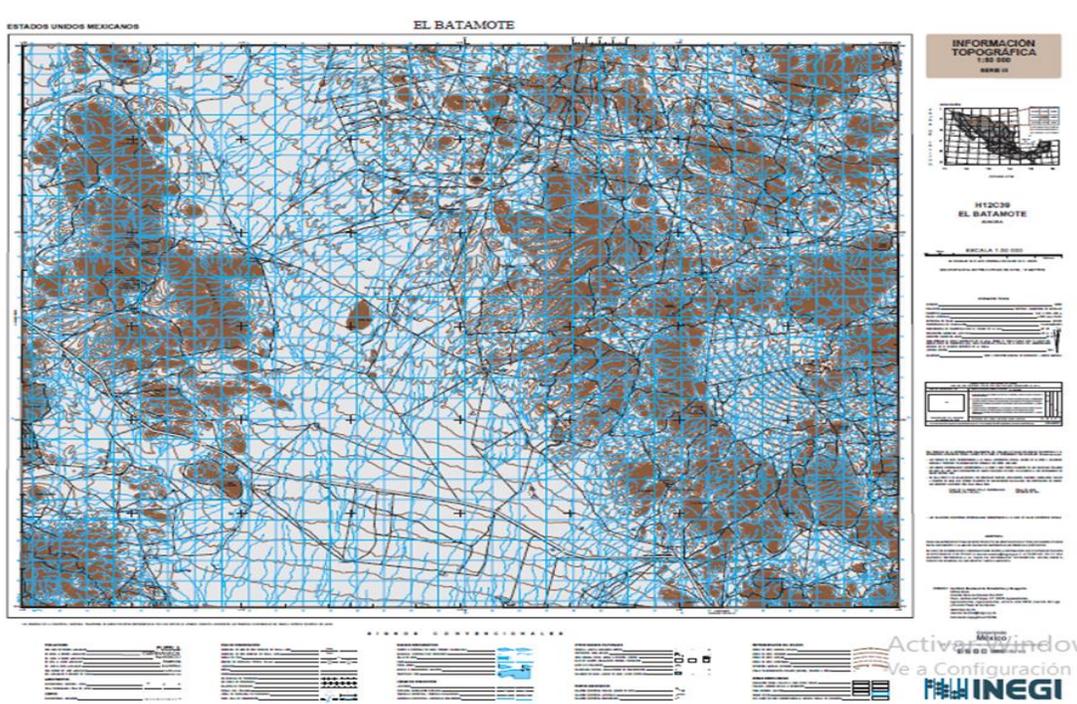


Figura 7. Carta Topográfica El Batamote H12C39
Fuente: INEGI (2021)

2.2.2.8. Zona de sismicidad. El Parque solar fotovoltaico La Orejana, no se encuentra ubicado en una zona susceptible de sismicidad. (CENAPRED, 2022).

2.2.2.9. Áreas naturales protegidas federales, en el estado de Sonora: Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, El Pinacate, el Gran Desierto de Altar, la isla San Pedro Mártir, Sierra Álamos-Río Cuchujaqui. La isla San Pedro Mártir en la actualidad se encuentra deshabitada, se localiza a 60 km de Bahía Kino, por lo cual, está alejada del rango estipulado para el predio La Orejana (SINANP, 2021); (SEMARNAT, 2016).

2.2.2.10 Áreas naturales protegidas estatales de Sonora: Estero el Soldado, la Presa Abelardo L. Rodríguez-El Molinito, San Bernardino y el Cerro Arivechi – Las Conchas. La más cercana, al predio La Orejana es la Presas Abelardo L. Rodríguez, que se encuentra a 97 Km., por la distancia indica, se encuentra fuera del rango de La Orejana (CEDES, 2021).

2.2.2.11 Área natural protegida municipal. En Hermosillo, el área natural protegida, que fue decretada como “Parque Urbano”, es el Parque Central de Hermosillo, conocida comúnmente como el Cerro Johnson.

El Cerro Johnson, al obtener esta categoría, para el conocimiento de la ciudadanía, fue publicado el 22 de enero del 2009, en el Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora, Tomo CLXXXIII No. 7.

La zona de reserva natural, que se encuentra relativamente cerca del parque fotovoltaico La Orejana es la Isla del Tiburón, la cual se encuentra ubicada al noroeste, a 64.5 km.

De acuerdo al Diario Oficial de la Federación, de fecha 15 de marzo de 1963, donde quedó especificado que la Isla del Tiburón fue catalogada como Zona de Reserva Natural y Refugio para la Fauna Silvestre, considerándose como un lugar privilegiado para la reproducción de las especies animales de la zona, para mantener en equilibrio sus poblaciones.

2.3. Factores Abióticos

Los factores abióticos son los factores ambientales o elementos del ecosistema que no tienen vida,

pero el reino animal los necesita para su existencia, como: clima, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, viento, precipitación, nubosidad, radiación solar, agua, oxígeno, fotoperiodo, dinámica del suelo. (Raffino, 2020).

De acuerdo a la estación Chipilon de REMAS (2021), en el parque solar fotovoltaico La Orejana, se presentan las siguientes condiciones:

Clima: Muy seco/ Semicálido.

Temperatura: Media anual de 23°C.

Radiación solar: Media anual de 252.75 W/m²

Precipitación: La media anual es de aproximadamente de 4.3 milímetros.

Viento: Velocidad media anual es de 5.6 km/hora.

Humedad Relativa: 49 % promedio.

2.4 Factores Bióticos.

2.4.1. Vegetación.

El tipo de vegetación de la zona La Orejana, es de las zonas semidesérticas; es considerada como un área de transición entre el matorral desértico micrófilo y el mezquital. Su denominación es matorral arbosufrutescente con pastizal inducido. Los pastizales inducidos se encuentran dentro de la sucesión normal de comunidades vegetales, con tendencia hacia el matorral. Los matorrales son plantas en forma de arbustos, cuya altura es inferior a los 4 metros.

El pastizal está constituido por plantas herbáceas del tipo graminiforme.

El zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*) es la especie dominante en toda la región de La Orejana. INEGI (2021).

Cuadro 4. Tipos de vegetación y su superficie de La Orejana

Tipo de vegetación	km ²
Mezquite xerófito	116.28 km ²
Matorral desértico micrófilo (hojas diminutas)	30.26 km ²
Matorral sarcocaula (de tallos gruesos)	22.58 km ²
Pastizal cultivado	5.01 km ²

Fuente: INEGI (2021)

La NOM-059-SEMARNAT-2010, especifica que el Mezquite, se encuentra dentro de especie vegetal protegida.

2.4.2 Fauna.

Las especies que se encuentran con mayor abundancia en la zona son: la lagartija de árbol norteña (*Urosaurus ornatus*), huico manchado de Sonora (*Aspidoscelis sonorae*), iguana de Sonora (*Ctenosaura hemilopha*), lagartija cornuda real (*Phrynosoma solare*) lagartija espinosa del desierto (*Sceloporus magister*), culebras del desierto (*Coluber sp.*).

De las especies de avifauna las más abundante son: gorrión arlequín (*Chondestes grammacus*), gavián pecho rufo/canela (*Accipiter striatus*) y en escasa proporción se encontraron las liebres (*Lepus alleni*) (SAGARPA, 2021).

En la zona habitan especies que se encuentran enlistadas en la NOM-059- SEMARNAT-2010, pero son de rápido desplazamiento, como la iguana de Sonora y el gavián de pecho rufo, que pueden desplazarse fácilmente a otras zonas donde puedan habitar. Se llevó a cabo el programa de rescate y reubicación de flora y fauna (SAGARPA 2021).

De acuerdo a la información obtenida se concluye lo siguiente:

-No se encontraron especies de fauna ni flora, especificadas por el Instituto Nacional de Ecología, dentro del estatus de peligro de extinción o tratamiento especial.

-No es un área de aprovechamiento cinegético (la caza de animales, respetando la conservación de la naturaleza), no se lleva a cabo la actividad cinegética como dinámica positiva de ingresos para los pobladores rurales, porque no habitan personas en el predio permanentemente.

-No es un terreno de vías pecuarias, es decir, no se tienen rutas o itinerarios donde transite el

ganado, por lo tanto no se encontraron cañadas, cordeles ni veredas, zonas de descanso animal ni abrevaderos.

- El predio La Orejana, no se encuentra dentro de un área de interés arqueológico, religioso o de carácter especial de etnias o pueblos originarios, tales como museos, cementerios, centro de rituales o cultos, ruinas arqueológicas etc.

2.5. Estación Meteorológica Automática (EMA)

Una estación meteorológica automática, se encuentra formada por: sensores de medición, además de una serie de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos instalados en una estructura de soporte que son distribuidos, orientados y conectados al sistema de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos de la estación. Su objetivo es la medición y registro de las variables meteorológicas del lugar donde se encuentran ubicadas y la transmisión de los datos obtenidos a la oficina central, donde son procesados y almacenados. Los sensores que integran una EMA son para medir: velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación (CONAGUA, 2021).

De acuerdo con Méndez y colaboradores (2019), las estaciones meteorológicas además de las mediciones de las variables climáticas, también pueden diseñarse para medir gases comunes presentes en la contaminación del aire, determinando la calidad del mismo, proporcionando información para tomar precauciones en el caso de algún siniestro climático o humano.(Méndez, *et al.*, 2019).

2.5.1. Red de Estaciones Meteorológicas de Sonora (REMAS)

Se encargan de la generación, almacenamiento, procesamiento y disseminación de los datos meteorológicos de Sonora. Las estaciones se encuentran ubicadas en: Fuerte Mayo, Valle del Mayo, Valle del Yaqui, Guaymas- Empalme, Costa de Hermosillo, Pesqueira, Caborca, Sonoyta,

San Luis Río Colorado, y la Zonas Serranas (REMAS, 2021).

En Caborca se encuentran ocho (San Luis, La Barra, la Exportadora, Cuchujaqui, María Eugenia, Loleyta, El Chaparral, La Rivera). Fuerte Mayo se encuentran cuatro: Emiliano Zapata Norte, Emiliano Zapata Sur, 21 de marzo, Totoboliboqui. En Guaymas-Empalme se tienen seis: Ortiz, Santa María, La Treinta, Campo Selza, La Campana y Buenos Aires. Pesqueira tiene dos: Tracalita y la Selva. San Luis Río Colorado se tienen siete: El Pivote, Moctezuma, Medano, Benítez, Monumentos, Despepite Bonfil, Encinas Johnson. En Sonoyta se encuentra uno: La Higadera. En Valle del Mayo se encuentran trece: Juliantabampo, Tesia, Capetamaya, La Regla, Chucarit, Pueblo mayo, el Girasol, Campo el 20, Chihuahuita, Las Piochas, Semay, Sahuaral de Otero, Los Cuates. En el Valle del Yaqui se encuentran veintiuno: Block 2228, Block 727, Block 1213, San Salvador, Block 910, Block 1922, La Tinajera, Block 419, Block 111, Block 731, Block 720, Block 2918, Block 1101, Block 2010, Block 1423, Block 1418, Block 1730, Block 1936, Block 2732, Block 609, Block 1703. En las Zonas Serrana se encuentran treinta y tres: Onavas, Álamos, Ures, Suaqui Grande, Los Algodones, Las Palmas, La Ladrillera, Banámichi, Ejido Agua Prieta, Moctezuma, Santa Adela, Los Corrales, Santa Cruz, Querobabi, Tierra Vieja, El Carrizo, Bacerac, Cucurpe, Yécora, La Loma, Sahuaripa, Nácori Chico, Huásabas, Bavispe, Chino Gordo, Cananea, Mátape, Tepache, Rosario Tesopaco, Mazatán, Cumpas, Baviácora, La casa Colorada. En la Costa de Hermosillo, se encuentran diez y seis: Perico, El Rosario, Dolores Jam, Kino, El Milagro de Fátima, La Bachata, Santo Niño, Peaña, Sahuaral, Chipilon, Abejas, Cuichi, Bervano, Green Stripe, Santa Elena (REMAS, 2021).

2.5.2. Estaciones Meteorológicas en Hermosillo

En Hermosillo se encuentran 16 estaciones meteorológicas en funcionamiento.

Cuadro 5. Estaciones meteorológicas de Hermosillo, Sonora.

PERICO 1	EL MILAGRO DE FÁTIMA	SAHUARAL (AGUA DULCE)	EL BERVANO
EMA-26030-16 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.60580 Longitud: - 111.56200 Altitud: 26.00 m.	EMA-26030-15 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.74128 Longitud: -111.47202 Altitud: 57.00 m.	EMA-26030-14 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.31030 Longitud: -111.24682 Altitud: 33.00 m.	EMA-26030-13 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.79102 Longitud: - 111.35569 Altitud: 82.00 m.
EL ROSARIO	LA BACHATA	CHIPILON	GREEN STRIPE
EMA-26030-12 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.97985 Longitud: - 111.52978 Altitud: 56.00 m.	EMA-26030-11 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.96421 Longitud: -111.13190 Altitud: 142.00 m.	EMA-26030-09 DDR-144-Hermosillo Latitud: 29.23584 Longitud: -111.76315 Altitud: 95.00 m.	EMA-26030-06 DDR-144- Hermosillo Latitud: 29.09082 Longitud: - 111.56145 Altitud: 74.00 m.
DOLORES JAM	SANTO NIÑO	ABEJAS	SAN CARLITOS
EMA-26030-10 DDR-144- Hermosillo Latitud: 29.06237 Longitud: - 111.72297 Altitud: 43.00 m.	EMA-26030-01 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.97634 Longitud: -111.26521 Altitud: 125.00 m.	EMA-26030-08 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.90480 Longitud: -111.22660 Altitud: 122.00 m.	EMA-26030-05 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.88920 Longitud: - 111.43016 Altitud: 85.00 m.
SANTA ELENA	KINO	PEAÑA	CUICHI
EMA-26030-04 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.84400 Longitud: - 111.56061 Altitud: 50.00 m.	EMA-26030-07 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.69463 Longitud: -111.65363 Altitud: 16.00 m.	EMA-26030-03 DDR-144-Hermosillo Latitud: 28.67888 Longitud: -111.32213 Altitud: 65.00 m.	EMA-26030-02 DDR-144- Hermosillo Latitud: 28.55402 Longitud: - 111.35965 Altitud: 34.00 m.

Fuente: Elaboración propia con datos de REMAS-CESAVESON (2021)

La estación meteorológica Chipilon de acuerdo a INEGI, es la más cercana al parque solar fotovoltaico La Orejana.

Conocer los pronósticos de la radiación solar, temperatura, precipitación, velocidad del viento y humedad relativa, es de suma importancia, porque las variaciones climáticas tienen influencia en el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas que conforman los paneles fotovoltaicos.

La energía fotovoltaica, compete en el mercado (subastas) siendo necesarios los pronósticos de energía, a más tardar para el día siguiente; los investigadores están realizando varios modelos

matemáticos y de redes neuronales de predicción, que indican la cantidad de energía que va a ser producida, para su competencia en el mercado eléctrico, para poder obtener el mayor beneficio económico.

2.6. Contexto Social

En el Plan Municipal de Desarrollo de Hermosillo 2022-2024, se especifica que se cuenta con la cobertura del 100% de energía eléctrica, con contratos de electricidad perfectamente establecidos, sin embargo, aún existen pocos asentamientos humanos irregulares que no cuentan con servicio eléctrico, el cual será proporcionado, cuando se defina su situación jurídica, es decir, que sean propietarios del predio que habitan, o estén bajo contrato de arrendamiento.

Existen en Hermosillo, algunas áreas donde habitan personas que no tienen regularizadas sus instalaciones eléctricas, generalmente son instalaciones colectivas con cableados precarios que unen a varias viviendas que se conectan a una sola acometida eléctrica, éstas son instalaciones que implican un riesgo elevado de accidentes e incendios.

En la construcción y funcionamiento del parque solar fotovoltaico La Orejana, no se presentaron marchas ni inconformidades por parte de los hermosillenses, se presentó de manera oportuna la publicidad pertinente, a través de: internet, radio, televisión y periódicos, para el conocimiento de la población de su construcción y funcionamiento (SENER PRENSA, 2019).

Se emplearon durante su construcción y funcionamiento, personas que viven en los campos aledaños y personas que viven en Hermosillo, Bahía Kino y el Poblado Miguel Alemán, en faenas de: deshierbe, tala de árboles, compactación y nivelación del terreno, albañilería, construcción de zanjas para cimientos, construcción de caminos interiores, colocación del cerco perimetral, construcción de salas y casetas, electricistas para el montaje de los paneles y su interconexión, guardias de seguridad y limpieza, entre otros.

Se emplearon 750 personas, bajo contrato laboral por tiempo determinado, otros por honorarios y por trabajo a destajo, brindándoseles capacitación sobre las normas de seguridad laboral, la instalación, mantenimiento (preventivo y correctivo), operación y reparación de los paneles.

INEGI proporcionó información sobre el historial censal del predio La Orejana (vía solicitud y respuesta a través de correo electrónico).

Cuadro 6. Censo histórico del predio rural La Orejana

EVENTO CENSAL	FUENTE	TOTAL DE HABITANTES
2020	censo	2
2010	censo	5
2005	censo	6
2000	censo	15
1995	censo	0
1990	censo	4

Fuente: Elaboración propia con fuentes de INEGI (2022).

De acuerdo al censo de 1990, el predio de La Orejana, lo habitaban 4 personas, oriundos del sur de la república mexicana, se dedicaban a la producción de carbón de mezquite y leña y cazaban palomas y codornices para su alimentación.

En 1995 el predio cambió de nombre, no se encontró a nadie habitando el lugar, personas aledañas llegaban con su ganado (vaquillas, cabras, becerros y borregos) y se marchaban después de su alimentación (ramoneo y pastoreo de agostadero) también llegaban personas aledañas a cortar leña y a recoger ramas secas para preparar sus alimentos y se regresaban a sus hogares.

En el 2000 se encontraron 15 personas que lo habitaban permanentemente dedicándose a la cría de especies menores y a la producción de carbón de mezquite y el corte de leña.

En el año 2005 vivían 6 personas formadas por dos parejas una joven sin hijos y la otra con dos hijos, se dedicaban a la crianza de especies menores y producción de carbón de mezquite.

En el 2010 el predio volvió a cambiar de nombre, vivían 5 hombres que se dedicaban a la producción de carbón de mezquite, tenían trabajo estable en ranchos aledaños.

En el año 2020 vivían dos personas de sexo masculino, eran indígenas triquis y trabajaban en ranchos aledaños como jornaleros agrícolas.

De acuerdo al Registro Agrario Nacional, (RAN, 2021) los asentamientos humanos con grupos étnicos, que se encuentran cerca del parque solar fotovoltaico son: náhuatl, mayos, mazatecos, amuzgos y triquis; se dedican a labores agropecuarias y como jornaleros agrícolas temporales. De los cinco grupos étnicos, solo los mayos pertenecen a Sonora, los triquis son de Oaxaca, los náhuatl del sur de Jalisco y de la Cuenca del estado de México, los amuzgos son originarios de Oaxaca y Guerrero.

A continuación se muestran los grupos étnicos que se encuentran habitando regiones cercanas al

parque solar fotovoltaico La Orejana, proporcionada por el Registro Agrario Nacional (RAN, 2021).

Figura 8. Asentamientos de grupos étnicos que habitan cerca de La Orejana



Fuente: Elaboración propia con datos del Registro Agrario Nacional (2021).

2.7. Contexto Político

El funcionamiento del parque solar fotovoltaico La Orejana, no se opone al Plan de Desarrollo Nacional de Desarrollo de México (2019-2024), en su apartado II de política social, establece al desarrollo sostenible como un factor indispensable para el bienestar y su omisión conlleva una serie de desequilibrios en corto plazo, siendo una severa violación a los derechos de los mexicanos.

En su apartado III relacionado a la economía, especifica que el rescate del sector energético de México, impulsará su desarrollo sostenible dotando de electricidad a las pequeñas comunidades aisladas que aún carecen de ella y que suman dos millones de habitantes. La transición energética dará pie para impulsar la reindustrialización del país. Tampoco se contraponen al Plan Estatal de Desarrollo de Sonora, ni al Plan Municipal de Desarrollo de Hermosillo, porque siguen la misma línea. (DOF-PND, 2019-2024).

Al finalizar el sexenio, (2019-2024) las instalaciones de energías renovables en México, será de 36,363 mega watts (MW), lo cual equivale al 40.26% de la capacidad instalada en el país.

Del total de esa cantidad, 58.2% será solar; 27.6%, eólica, y 14.2% hidroeléctrica (PND, 2019).

El gobierno mexicano, considera poner en marcha un programa destinado a favorecer la compra

de 4, 881,000 paneles solares, que se instalarían en los techos de las casas-habitación (sector doméstico), con una capacidad de 4,881 mega watts, beneficiándose 17, 876,610 personas, que tendrá repercusión en 3,304 empleos durante el sexenio (2019-2024).

También se tiene contemplado la instalación de paneles solares tanto en: universidades, oficinas gubernamentales, luminarias fotovoltaicas en parques y avenidas; se espera que México tenga una Administración Pública verde, utilizando energías renovables, lo cual generarán 10,574 empleos. Se tiene previsto apoyos para que las industrias mexicanas dispongan de insumos, generación, almacenamiento, distribución, control y administración eficiente de energías limpias y renovables. La principal limitante es la prolongación de la discusión sobre la reforma energética en México, se puede considerar que se encuentra en incertidumbre jurídica esta temática, porque aún, no se han sentado las bases con un sustento legal, generando desconfianza entre los empresarios nacionales y extranjeros.

2.8. Contexto Cultural.

La energía solar fotovoltaica es un medio de inclusión social, porque puede llegar a zonas alejadas. La Agenda Post-2015 ha determinado que para poder acabar con la pobreza en el 2030 es necesario proveer de electricidad a las personas que aún no la tienen. La energía está vinculada con la inclusión social y la igualdad.

Se ha analizado a la tecnología fotovoltaica como medio de inclusión, de las comunidades de los pueblos originarios; describieron los cambios de sus usos y costumbres antes y después de tener de energía fotovoltaica en sus hogares (Mendoza *et al.*, 2019).

3. MARCO REFERENCIAL

Se indican los trabajos de investigación realizados relacionados con la temática de la tesis y la energía fotovoltaica a nivel internacional, en México, Sonora y Hermosillo, las ventajas y desventajas del uso de energía fotovoltaica, la energía fotovoltaica en México, Sonora y Hermosillo.

3.1. Trabajos de Investigación Realizados a Nivel Internacional, México y Sonora

3.1.1. Trabajo de Investigación Realizado a Nivel Internacional

Josefina Arce Silva (2021) realizó su tesis en Chile, cuyo título es: Desarrollo de la energía solar fotovoltaica a gran escala en Chile y los desafíos asociados a la gestión de residuos. Indica que los paneles fotovoltaicos contienen Cadmio y Plomo, los cuales al lixiviar contaminan el medio ambiente; indica que se deben de desarrollar e implementar políticas públicas sobre el reciclaje de los paneles. La metodología consistió en una base de datos de 495 parques fotovoltaicos en Chile, creó un escenario presente y dos escenarios futuros de residuos de módulos fotovoltaicos, sobre la cantidad de materiales recuperables anualmente, sugiriendo el uso del método VIKOR.

Los escenarios futuros mostraron que en año 2050 se tendrán aproximadamente entre 1.3 a 1.7 millones de toneladas de residuos fotovoltaicos y 2 millones de toneladas acumuladas del año 2058, pudiéndose recuperar anualmente, desde el año 2033, aproximadamente 30,795 toneladas de materia prima (Arce, 2021).

Este trabajo contribuyó a reforzar el conocimiento de que los paneles solares contienen elementos químicos tóxicos y que contaminan el ambiente, así mismo, la importancia de la economía circular tanto en el reciclaje como en la reutilización, por los millones de toneladas de residuos que se generarán en el futuro.

3.1.2. Trabajo de Investigación Realizado en México.

Maribel Venegas Bañol (2018) egresada de la UNAM, realizó su tesis de maestría titulada: Caracterización de los parques solares fotovoltaicos en las diferentes regiones del país para la expansión óptima de generación. Su trabajo evaluó la viabilidad energética y financiera de las plantas solares ganadoras de las subastas de energía. Evaluó los costos de producción de energía por medio del Costo Nivelado de la Energía (LCOE), su cálculo le permitió conocer la viabilidad de los parques solares en México. Evaluó el recurso solar por medio del análisis P50/P90 y se identificó la tecnología (monocristalinos o policristalinos) que tuvo un mejor rendimiento y los principales parámetros financieros, todo fue realizado con el software System Advisor Model. El software dio resultados de desempeño por debajo de los valores dados por los promotores de los proyectos ganadores de las subastas. Sin embargo, México cuenta con los elementos y características para respaldar los riesgos financieros adquiridos por los inversionistas, contribuyendo con la planeación energética (Venegas, 2018).

Esta tesis aportó al presente trabajo de investigación que si son viables financieramente, la creación de parques solares fotovoltaicos en México.

3.1.3 Trabajo de Investigación Realizado en Sonora.

Mario Coronel Higuera (2016), realizó su tesis: Operación de equipo de concentración solar para celda fotovoltaica de alta eficiencia. Su investigación consiste en la multi unión de alta eficiencia, entre las celdas fotovoltaicas. La óptica del concentrador permite un nivel de tolerancia para el seguimiento solar sin afectar la concentración. El arreglo geométrico de los colimadores permite una distribución homogénea de la radiación solar sobre la fotocelda de multi unión, lo cual es indispensable para su buen funcionamiento. El prototipo puede operar con una producción casi constante de 800 W por unidad y puede ser usado para aprovechar calor (Coronel, 2016).

El aporte de esta tesis fue, que se están investigando nuevas tecnologías en Sonora, para que se tenga mayor eficiencia en su funcionamiento las celdas fotovoltaicas.

3.2. Energía Fotovoltaica a Nivel Mundial, México, Sonora y Hermosillo

3.2.1 Energía Fotovoltaica a Nivel Mundial.

Los cambios hacia una economía global con cero emisiones de carbono, es una forma segura de mitigar el cambio climático (Hart y Pomponi, 2021).

La energía fotovoltaica presenta un crecimiento acelerado a nivel mundial. Los países que tienen mayor cantidad de instalaciones fotovoltaicas son: China, Estados Unidos, India, Japón, Turquía, Alemania, Filipinas, Australia, Corea, Brasil, Reino Unido, Francia, Países Bajos, Pakistán, ocupando México el lugar 24 y por último Sudáfrica (IEA, 2021).

Los países con mayores instalaciones de energía solar en el 2021 fueron: China, el líder en instalaciones solares con más del 35% de la capacidad mundial, Estados Unidos con el 10.6%, Japón casi el 10%, Alemania más del 7%, India con más del 5%, Australia, Corea del Sur y Vietnam, sobre el 2% cada país, Italia, España, Reino Unido y Francia, alrededor del 2%, cada uno, Brasil 1% y México 1% (IRENA, 2022).

Las acciones de las empresas de energía renovable, han tenido buenas ganancias, por las políticas monetarias acomodaticias y el mercado positivo hacia los activos de baja emisión de carbono. El aumento en la calidad, la eficiencia financiera y el desarrollo tecnológico, traen múltiples beneficios a este tipo de tecnologías (Shahbaz *et al.*, 2021).

El precio del panel fotovoltaico, se ha reducido en 89% desde el año 2007, por los avances tecnológicos (IRENA, 2019).

En Colombia, la ley 1715, contempla incentivos, para hacer más rentable el uso de energía fotovoltaica y que tenga un mayor crecimiento, esperándose una capacidad instalada de 1542 MW en 2030. La Resolución 098 del 2019 fue un paso importante en relación a su almacenamiento, para poder garantizar la confiabilidad en la prestación de servicio eléctrico (Castaño-Gómez y García, 2020).

En Cuba, la intensidad de la radiación solar es entre 800 y 900W/m² cuando incide perpendicularmente sobre una superficie y más de 5kWh/m² como valor promedio anual (Santos, 2020), la nubosidad en Cuba es muy alta por lo que la irradiación difusa es mayor del 40%, los días

nublados son más de 10 al mes. Los paneles fabricados en Cuba son paneles de silicio policristalinos, con módulos fotovoltaicos de 60 o 72 celdas solares, presentando una eficiencia aproximada del 17.9% a 19%, sus costos de fabricación son elevados, por lo cual, no se tiene la cantidad que se debiera de paneles fotovoltaicos, en viviendas, ni en el sector público ni privado (Carrera *et al.*, 2021).

China por su destacado poder económico y financiero, es partícipe de empresas fotovoltaicas en Argentina y Brasil, expandiendo su influencia geopolítica. Se considera de suma importancia que ambos países, tengan medidas proteccionistas y de incentivos (subsídios, financiamiento por parte de bancos regionales, etc.) y la creación de clúster productivos locales o regionales, que tengan un plan energético bien definido de largo plazo que contemple todos los cambios asociados a la transición energética y la capacidad de negociación sobre esos puntos con China, para la autonomía y autosuficiencia energética de Brasil y Argentina (Aguilera, 2021).

3.2.2 Energía Fotovoltaica en México

En México, la energía fotovoltaica para ser considerada dentro del mercado competitivo, debe de producirse de forma eficiente, incrementando su eficacia y eficiencia, utilizando asertivamente los recursos humanos, capital, recursos materiales y financieros, creándose ventajas competitivas, se debe de tener un marco legal consolidado, para legitimar de forma sostenible, integral y transversal a las energías renovables (Martínez, *et al.*, 2021).

3.2.3 Energía Fotovoltaica en Sonora

Sonora, es el estado que tiene mayor potencial para la generación de energía fotovoltaica de todo México, si se utilizara el 1% del territorio sonorense, para parques solares fotovoltaicos, se proveería de electricidad a toda la República Mexicana, aunado a la fabricación de baterías de iones de litio, para el mercado de vehículos eléctricos (Mapa de ruta de energía de Sonora, 2017).

La central fotovoltaica de Puerto Peñasco es clave para la transición energética de México, producirá 1,000 mega watts de energía y beneficiará a 1.6 millones de personas, o aproximadamente 538,000 viviendas, será la más grande en América y la quinta a nivel mundial; evitará la emisión de 1.4 millones de toneladas de CO₂, equivalente a sacar de circulación 270 mil automóviles. Tendrá un costo de \$1.7 mil millones de pesos y constará de 2 millones de paneles, iniciará su funcionamiento en abril de 2027, le proporcionará electricidad a Baja California, a través de la construcción de la línea Noroeste de la CFE. Se construirán 3 subestaciones eléctricas en 400 kV y 2 líneas de transmisión de 400 kV, con 215 kilómetros en Sonora y 75 kilómetros en Baja California. Se tiene contemplada la exportación de energía fotovoltaica a los Estados Unidos (Milenio, 2023).

3.2.4 Energía Fotovoltaica en Hermosillo

En Hermosillo, se encuentran en funcionamiento tres parques solares fotovoltaicos, La Orejana, Iberdrola y Canadian Solar. Los municipios de Piquito, Navojoa y Caborca cuentan con dos cada uno y Empalme tiene un parque fotovoltaico (COEES, 2021).

De acuerdo a lo analizado en este apartado, la transición energética en México, está basada en la generación y consumo de energía limpia y renovable. La generación de energía fotovoltaica, colabora en a la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica y en la seguridad energética. De acuerdo a información de IRENA (2020), las instalaciones de energía fotovoltaica solo al 6.4% del total de la capacidad eléctrica mexicana en el año 2020. Lo cual indica que se está desaprovechando el gran potencial de energía solar que tiene la República Mexicana, sus altos niveles de irradiación solar son de 4.4 kWh/m² por día, en la zona centro, y mínimo de 6.3 kWh/m² por día en el norte del país (The World Bank, 2017), asimismo, México debe de cumplir lo pactado en reducir el 22% de las emisiones de GEI, por lo cual, se hace necesario implementar políticas públicas que impulsen la creación a gran escala (parques fotovoltaicos) y a pequeña escala o nivel residencial, la participación de energía fotovoltaica instalada en México.

3.2.5 Ventajas y Desventajas de la Energía Solar Fotovoltaica.

A continuación se presenta un cuadro con las principales ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica, de acuerdo a la bibliografía consultada.

Cuadro 7. Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fuente de energía gratuita (sol), inagotable y respetuosa con el medioambiente, energía limpia no contamina	Gran inversión inicial
Reducción de emisiones de GEI.	La producción de energía varía de acuerdo a la estación del año
Reducción del uso de energías convencionales para la producción de electricidad y energía térmica.	Susceptibles a incendios forestales, lluvias, tormentas, huracanes, nieve, granizo, nubosidad, sombras, etc.
Es insonora, no contamina con ruido	Contaminación visual
Tiene una vida promedio de 25 a 30 años actualmente	Al final de su vida útil puede generar contaminación por residuos tóxicos.
Resiste condiciones de calor extremo	Requiere de baterías para su almacenamiento, lo cual se está innovando.
Puede estar en lugares alejados-rural	Los parques solares, requieren de grandes extensiones de terreno para su instalación y producción.
Puede modificarse el número de celdas fotovoltaicas.	
Disminuye la dependencia energética con otros países.	
Ayuda a los países miembros a conseguir las expectativas y compromisos adquiridos con el Protocolo de Kioto.	
El mantenimiento es sencillo y de bajo costo y se pueden fabricar celdas de distintos tamaños.	
Incentiva la innovación y desarrollo tecnológico.	

Fuente: Fundación Aequae (2019), CNUEE (2014), Stolik, D. (2018).

4. MARCO TEÓRICO

En este apartado se indican las bases teóricas que sustentan la presente investigación, bibliografía relevante relacionada con energía fotovoltaica y se enuncian los conceptos importantes de la normatividad vigente de México, relacionada con la temática de la presente tesis.

4.1 Antecedentes

La energía es un factor esencial en la vida los seres humanos, su uso define la evolución de una sociedad (Akizu –Gardoki *et al.*, 2018).

Las transiciones energéticas se presentan en un periodo temporal y con una extensión relativa; produciéndose un cambio en las fuentes de donde se obtiene la energía, su objetivo es brindar las condiciones para que las sociedades tengan un mejor desarrollo, caracterizándose dentro de un contexto socioeconómico, científico, tecnológico y cultural específico del país donde se llevan a cabo (Da Conceicao y Gómez, 2022).

Es necesario, actualizar las legislaciones que se encuentran orientadas a la eficiencia energética e incentivar el avance tecnológico innovador amigable con el medio ambiente, satisfaciendo las necesidades de consumo eléctrico de manera eficaz.

En México, 35 mil familias no tienen acceso a energía, por lo cual se encuentran viviendo en extrema pobreza energética; 36.7% de las familias, se privan de algún bien económico, por no tener acceso a energía suficiente (apagones, fallas de cableado, mufas, etc.). Miles de mexicanos, si bien tienen acceso en sus viviendas a electricidad, no tienen suficientes recursos económicos para utilizarla, eximiéndose de ello, porque parte de los recursos destinados para la compra de sus alimentos, los destinan para pagar el recibo de la luz (INEGI, 2020).

Hermosillo tiene radiación solar, prácticamente durante todo el año. La radiación directa anual es de 667.80 w/m² y la radiación total o global es de 2862.80 horas. Afortunadamente en Hermosillo, casi no presenta radiación difusa, la cual, es el tipo de radiación que ha tenido alteraciones por la acción de gases de la atmósfera, nubes, lluvias, nevadas, aguanieve, granizo, smog, polvo, entre otros (INEGI, 2020).

4.2 El Sol y los Tipos de Radiación

4.2.1. El Sol

El sol, tiene 4,600 millones de años, es una estrella enana, cuyo diámetro es de $1,392 \times 10^9$ km. Está compuesto principalmente por: 74 % de Hidrógeno, 25% de Helio y el 1 % de elementos como: Fierro, Silicio, Neón y Carbono. En el interior del sol, se encuentra su núcleo que tiene una temperatura de 15×10^6 °K. El sol es un gran reactor de fusión, cada segundo, 700×10^6 toneladas de hidrógeno se transforman en helio, liberándose enormes cantidades de energía electromagnética. La masa del sol es de 1.99×10^{32} Kg., su radio es de aproximadamente 6.96×10^5 Km. La tierra recibe radiación solar de 1.5×10^{18} kilovatios/h, con la cual se suministraría energía fotovoltaica a todo el planeta (Aparicio, 2020).

4.2.2. Radiación Solar

Llega a la Tierra como radiación electromagnética que puede ser transformada en electricidad como energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

La energía solar térmica, utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía solar para producir calor, mediante colectores térmicos. La energía solar fotovoltaica, produce electricidad por medio del efecto fotoeléctrico de las celdas solares (Prieto, 2020); (Pereira *et al.*, 2018).

La radiación solar que llega a la superficie terrestre al atravesar la atmósfera, es atenuada en un 30% hasta llegar la superficie terrestre, lo cual es debido a: dispersión por aerosoles, partículas de polvo, absorción de gases efecto invernadero y por la interacción de moléculas atmosféricas cuyo diámetro es menor que la longitud de onda de la radiación incidente. (Rodríguez *et al.*, 2022).

4.2.2.1. Tipos de radiación solar. De acuerdo a Aparicio (2020), son tres los tipos de radiación solar. Radiación Directa: También llamada incidente, es recibida directamente, sin que se desvíe su paso por la atmosfera.

Radiación Difusa: Sufre cambios en su dirección debido a la reflexión y difusión de la atmosfera.

Radiación Reflejada o Albedo: Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

4.3. Energía Solar Fotovoltaica

Es un tipo de energía que mediante el efecto fotoeléctrico, convierte la energía solar en energía eléctrica, mediante las celdas solares (De Kuyper, 2018).

4.3.1. Primera, Segunda y Tercera Generación de Celdas Solares.

Las celdas fotovoltaicas se dividen en tres generaciones.

Las celdas de primera generación, son las de los módulos de Silicio monocristalino (Mono-Si o Sc-Si) y Silicio multicristalino o policristalino (pc-Si), las cuales son superficies de cristal con unión p-n, también son llamadas celdas solares de obleas de silicio (Muteri *et al.*, 2020).

Las celdas fotovoltaicas de segunda generación, presentan una reducción en sus costos, en relación a las de primera generación, incluyen: Silicio amorfo (a-Si), Silicio monocristalino, Silicio policristalino, Telurio de Cadmio (CdTe), Sulfuro de Cadmio (CdS), Sulfuros y Seleniuros de Indio. Las celdas de segunda generación son las más conocidas, tienen una eficiencia del 25%, sin embargo, sigue siendo aún cara su producción, por las altas temperaturas que requieren, (1,500 °C a 2,000°C). (Bush *et al.*, 2017).

Las celdas fotovoltaicas de tercera generación, (aún están en fase de experimentación) son de perovskita (PSC) y las sensibilizadas por colorante (DSSC). Las de perovskita son más económicas y tienen óptimas propiedades fotovoltaicas, son más eficientes y la perovskita se puede encontrar más fácilmente que el silicio; su inconveniente es la inestabilidad de la perovskita híbrida en climas húmedos, pero por lo seco del clima de Sonora, no se tendría ningún inconveniente en su funcionamiento. Las celdas de nanotubos de carbono (grafeno) tienen un gran potencial, también se está investigando con colorantes para crear pinturas (casas, carreteras, aparatos electrónicos,

automóviles y telas para prendas de vestir) que capten energía solar; su eficiencia de acuerdo a investigaciones, se encuentra entre el 30% y 60% (Martínez y Seminario, 2021); (Urcuyo *et al.*, 2021); (Shen, *et al.*, 2018).

También se han hecho investigaciones con celdas solares fabricadas con óxido de tungsteno (WO₃) el cual es de fácil obtención, el municipio de Álamos, Sonora es el principal productor de tungsteno a nivel nacional y el proceso completo, tiene un costo accesible. (Partida, *et al.*, 2020).

4.3.2. Eficiencia Energética.

La eficiencia energética, es la relación entre la cantidad de energía utilizada y la prevista, puede medirse con indicadores termodinámicos, comparando la variación de entalpía a la entrada del sistema con la salida, o relacionando el valor real con un valor ideal teórico (Li y Tao, 2016).

“La eficiencia energética es la proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía" (CEC, 2019).

La Eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía, optimizando el consumo energético, atendiendo las necesidades energéticas con la menor cantidad de energía. La eficiencia energética protege el medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética, evitando pérdidas y contaminación durante el proceso energético, así como el uso adecuado y ahorro del uso de energía por el usuario, para que se concientice de consumir solo la energía necesaria (Rey *et al.*, 2018).

4.4. Bases Teóricas

En 1839, Alexandre Edmond Becquerel, descubrió el efecto fotovoltaico. James Maxwell, en 1864 descubrió las ondas electromagnéticas (Da Silva y Costa de Lima, 2022).

Heinrich Rodolfo Hertz, en 1887 documentó el efecto fotoeléctrico, estando trabajando con ondas de radio, observó que cuando la luz ultravioleta incide sobre dos electrodos de metal con un voltaje aplicado a través de ellos, la luz cambia el voltaje y se produce una chispa (Valente y Figueroa, 2020). Sin embargo, como aún no se había descubierto la existencia de los electrones, (Sir Joseph

John Thomson los descubrió en 1897), las investigaciones de Hertz, vislumbraron su presencia. Phillip Lenard (discípulo de Hertz), en 1902, siguió con sus investigaciones y demostró que las partículas cargadas eléctricamente se liberan de una superficie metálica cuando se ilumina y que estas partículas son idénticas a las partículas de carga eléctrica negativa descubiertas por Thomson en 1897 (Jadhav, 2022).

En 1905 Albert Einstein, expuso una interpretación correcta y simple a los resultados de Lenard, basándose en la constante de Planck, (hecha cinco años atrás), sobre la energía cuantificada de cuerpos negros, asumiendo que la radiación entrante debía de ser considerada como cuantos de energía $h\nu$, con ν la frecuencia. Siendo así como, Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico (1921, Premio Nobel), creando su teoría de los cuantos de luz o de efecto fotoeléctrico, que afirma la dualidad onda partícula de la luz, indicó que la energía no está en función de la intensidad, sino de la frecuencia ($E = h \cdot \nu$). La luz, se propaga como una onda e interacciona con la materia como partícula (Santos *et al.*, 2021).

El efecto fotoeléctrico, es un proceso por medio del cual un material libera electrones por la incidencia de la radiación electromagnética, produciendo electricidad a través de los electrones liberados. (Santos *et al.*, 2021).

La energía está vinculada a los desafíos del desarrollo sostenible (Mundaca *et al.*, 2018). El desarrollo sustentable alude a la preservación de los recursos naturales (Zottele y Nájera, 2022).

La transición energética, del cambio de uso de los combustibles fósiles por energías renovables, debe de garantizar su eficiencia, valorar sus riesgos y beneficios ambientales, económicos y sociales, para que pueda ser considerada como energía sostenible. La previsión de la energía solar de manera precisa, mejora la estabilidad del sistema eléctrico, al aumentar el nivel de penetración del sistema fotovoltaico, se reduce el costo de mantenimiento de los dispositivos auxiliares y ayuda a los operadores y diseñadores del sistema de energía, a modelar y gestionar las plantas solares fotovoltaicas de manera eficiente y eficaz (Ahmed *et al.*, 2020).

La transición a un sistema de energía con más participación de energías renovables, de acuerdo a Tratados Internacionales, se tiene como fecha límite el año 2050, para lo cual, se debe de alcanzar la neutralidad de carbono, en los próximos ocho años, (2030). México debe de cumplir con el Acuerdo de París y lograr que la temperatura media no aumente más de 2° C, para poder impedir la devastación de hábitats por el cambio climático.

La energía solar fotovoltaica, tiene una gran dependencia de las condiciones ambientales para su

producción, motivo por lo cual, investigadores a nivel mundial, ha hecho predicciones de energía, con datos históricos de las condiciones ambientales, que puedan afectar la producción de energía fotovoltaica.

Entre la bibliografía consultada, se presenta la siguiente:

Cuadro 8. Bibliografía sobre sistemas fotovoltaicos

Investigadores	Estudio	Estrategia utilizada
Herrera C.R., <i>et al.</i> , (2022)	Sistemas fotovoltaicos	La creación de un modelo dinámico de predicción de energía fotovoltaica basada en la temperatura y radiación solar.
Si Z, (2020)	Sistemas fotovoltaicos	Predicciones de la irradiación solar, en horizontes de tiempo de 1, 2, 3 y 4 horas a partir de imágenes satelitales y una red neuronal modificada.
Sharadga <i>et al.</i> , (2020)	Sistemas fotovoltaicos	El pronóstico de series de tiempo para plantas fotovoltaicas solo es confiable para la predicción de 1 hora por delante. El algoritmo BI-LSTM es un modelo preciso de predicción de energía para plantas fotovoltaicas a gran escala.
Ordoñez-Palacios L, <i>et al.</i> , (2020)	Sistemas fotovoltaicos	Modelos matemáticos, para predecir radiación solar, usando redes neuronales con algoritmos

Fuente: Elaboración propia, con base en: Herrera C.R., *et al.*, (2022); Si Z, (2020); Sharadga *et al.*, (2020), Ordoñez-Palacios L, *et al.*, (2020).

4.5 Economía Circular

La tecnología fotovoltaica es una de las más prometedoras en comparación con otras tecnologías (Gautam *et al.*, 2021), a medida que aumente su demanda, también lo hará la extracción de materiales vírgenes que la conforman (silicio, indio, plata, telurio, cobre, plomo, litio, estaño, cadmio, rutenio, galio), siendo éstos, materiales finitos (Curtis *et al.*, 2021), por lo que es una buena opción, para los problemas ecológicos y socioeconómicos resultado de la generación de residuos, la contaminación y la escasez de recursos finitos (Goyal *et al.*, 2021), (Farrel *et al.*, 2020).

Desde la fase del diseño de los productos, deben de ser considerados los impactos ambientales, adoptando un modelo de gestión integral de residuos. (Suárez-Eiroa *et al.*, 2019). Es por ello que la Economía Circular, representa una serie de oportunidades en las cadenas productivas, buscando

minimizar las externalidades negativas de los procesos productivos, puesto que considera al residuo como un recurso potencial que puede ser utilizado. (Oliveira, *et al.*, 2018), (Jabbour, 2020). Es necesaria una cadena de suministro circular para gestionar residuos y recuperar recursos, equilibrándose así la estructura económica (Gautam *et al.*, 2021). Las empresas deben de estar en equilibrio en los ámbitos: medioambiental, económico, logístico, organizativo y de marketing. (Kazancoglu, *et al.*, 2018).

La adopción de este modelo depende de las empresas, los proveedores, clientes, sociedad y autoridades públicas. La Economía Circular no logrará su objetivo, si ocurre aisladamente, debe de existir una mejor relación entre empresas y sociedad, para lo cual, es indispensable la intervención del gobierno, tener una legislación actualizada, políticas públicas congruentes, incentivos fiscales y campañas de concientización de la sociedad (Vier *et al.*, 2021).

La Economía Circular puede reemplazar a la economía lineal actual (Millar *et al.*, 2019), puesto que opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), a nivel meso (parques eco-industriales) y a nivel macro (ciudad, país), creando valor ambiental, prosperidad económica y equidad social, beneficiando a las generaciones actuales y futuras (Kirchherr, 2017).

Investigadores han considerado que la economía circular es un modelo con una visión basada en los recursos y también es sistémica, por lo cual, se tienen que considerar todas las variables del sistema Tierra y, por medio de la tecnología y la innovación, poder fortalecer la economía de largo plazo, con la extracción mínima de materias primas (Desing *et al.*, 2020).

Jiménez (2020) ha indicado que la transición de la economía lineal a la economía circular, debe ser simultáneamente, en los ámbitos de los materiales, la energía y la baja de emisiones de carbono.

D'Alisa (2019) precisa que le corresponden a las comunidades y a los expertos diseñadores de programas, que desde la planeación, promuevan la sustentabilidad y la inclusión. Paño (2021) especifica que a la economía circular es una economía transformadora, surgida en los países con economías fuertes.

4.5.1. Acciones a Realizar en la Fase de Abandono en el Parque Solar Fotovoltaico La Orejana.

La fase de abandono, se llevará a cabo cuando llegue a su término el contrato de arrendamiento

del predio donde se encuentra instalado el parque solar fotovoltaico, o antes, si no le conviene al arrendatario seguir arrendando el terreno, porque el tiempo estipulado en el contrato de arrendamiento fue excedido para cumplir el objetivo planeado para lo cual se arrendó, o porque ya es incosteable su funcionamiento, de lo cual, pueden ser por múltiples los motivos; privilegiando que un contrato es un acuerdo de voluntades, siendo por ello que, se puede dar por terminado un contrato unilateralmente. El predio donde se ubica el parque solar fotovoltaico La Orejana, tiene un arrendamiento por 25 años, el cual se puede extender por 5 años más.

Durante la fase de abandono de un parque solar fotovoltaico, mínimamente se debe de realizar lo siguiente:

- Se deben de colocar en un depósito específico y por separado, los paneles fotovoltaicos, sus estructuras y cableado, para su reutilización o reciclado.
- Los residuos de la demolición de casetas y oficinas del parque fotovoltaico, serán llevados a vertederos autorizados por el municipio de Hermosillo.
- El terreno donde estuvo funcionando el parque fotovoltaico, debe de ser restaurado, evitando el cambio de imagen del paisaje natural, evitando la contaminación y pérdida de suelo y posible erosión.
- Se debe de realizar la restitución al terreno de su vegetación y la fauna nativa.

4.5.2. Disposición Final de Paneles Fotovoltaicos

Los residuos de los paneles solares, a nivel mundial, serán aproximadamente de 78,000,000 toneladas para el año 2050, motivo por el cual, la disposición final de los paneles fotovoltaicos será un tema ambiental de innovación tecnológica, en las próximas décadas (Xu *et al.*, 2018).

La sostenibilidad de los paneles fotovoltaicos, debe de ser circular, iniciar en las etapas de su planeación, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y desecho. (Rojas-Hernández y Lizana, 2018).

Los sistemas solares fotovoltaicos son una forma de tecnología de bajo costo, confiable, eficiente y ecológicamente correcta. Sin embargo, no significa que la tecnología fotovoltaica sea una tecnología completamente libre de impactos tanto ambientales como de salud humana; los residuos

fotovoltaicos contaminan, porque las celdas fotovoltaicas contienen minerales como litio, cadmio, estaño, indio, telurio (Salim *et al.*, 2019).

Cuando los paneles, son considerados como desechos, deben tener un lugar adecuado y especificado por el gobierno municipal, para su colocación y así no contaminar el ambiente; las celdas y paneles fotovoltaicos, son clasificados en el grupo de los aparatos eléctricos y electrónicos, por contener sustancias peligrosas; deben de tener un manejo adecuado tanto en su manipulación, su procesamiento y destino final (Weckend, *et al.*, 2016).

Los paneles fotovoltaicos, pueden contener metales como: plomo, que ocasiona daños a la salud y al medio ambiente, si no son manejados correctamente, contaminando suelos, aguas y el aire; hay personas que los juntan de los vertederos para extraerles por medio de la incineración metales como el cobre, siendo la incineración de paneles solares muy perjudicial, porque se liberan gases de metales tóxicos (Lunardi *et al.*, 2018).

A continuación se presentan los daños ambientales que ocasionan los paneles fotovoltaicos.

Cuadro 9. Impacto ambiental de los materiales de los paneles fotovoltaicos

Materiales	Impacto ambiental
Silicio	El silicio es el material de mayor porcentaje que se encuentra en las celdas de paneles policristalinos y monocristalinos; no se disuelve bien en el agua, pero al estar expuesto al aire libre puede generar material particulado con un nivel de toxicidad bajo. Es corrosivo (Washington Mills, 2015).
Plomo	Puede generar lixiviados al contacto con el agua, afectando ecosistemas, porque queda en el suelo y/o en cuerpos de agua. En animales y humanos afecta el sistema nervioso, cardíaco y respiratorio, en concentraciones altas puede causar la muerte (Roth, 2021).
Aluminio	Puede ser reciclado y reutilizado, es vendido como elemento de baja calidad por sufrir deformaciones al momento de la separación. Sin embargo, la cubierta posterior contiene en algunos casos flúor que en tratamientos térmicos puede desprender emisiones (Roth, 2021).
Selenio	Con un 53% es el material de mayor porcentaje en los paneles de películas delgadas CIG. Su exposición en el aire puede generar en el ser humano mareos y fatiga, en contacto con el agua puede formar ácido de selenio. Las reacciones con diferentes sustancias no son estables en el tiempo. Se debe evitar su liberación al medio ambiente (Roth, 2021).
Cobre	El cobre no presenta grandes riesgos para la salud humana, pero si se concentra en grandes cantidades en el suelo afecta el crecimiento de plantas, volviendo el suelo infértil, si un animal ingiere el cobre que esté presente en las plantas, puede ser mortal (Roth, 2021).
Galio	El galio puro no presenta riesgos para el ser humano, pero cuando se presenta

	en compuestos puede afectar la salud, con dificultad en la respiración o dolores de cabeza. El galio afecta cuerpos de agua cuando su concentración es elevada, pues se requiere sustancias radioactivas para su separación (Roth, 2021).
Indio	Es altamente tóxico para los seres humanos y animales, aún no se han investigado los efectos que se puedan presentar en los seres vivos y su daño al medio ambiente (Roth, 2021).
Cadmio	Es un metal pesado, se encuentra en mayor porcentaje en las celdas de paneles de película delgada CdTe, es cancerígeno y en concentraciones de 50 mg puede ser mortal, al estar en contacto con agentes corrosivos o ácidos, genera lixiviados afectando los ecosistemas (Roth, 2021).
Telurio	La inhalación de telurio puede causar afectaciones en el sistema nervioso central y su ingestión causa, dolor abdominal, estreñimiento y vómito. (Roth, 2021).

Fuente: Lenntech (2020), (Roth, 2021), (Washington Mills, 2015).

A nivel mundial, la Unión Europea, hasta el día de hoy, es la única que ha legislado sobre el reciclaje de paneles solares, indicando que los módulos deben tener una tasa de recolección del 85% y una de reciclaje del 80%, de acuerdo a RAE-2012-19.UE. (Ruiz Escudero, 2020).

En México, la Ley General de Economía Circular, tiene como propósito mantener los materiales el mayor tiempo posible en el ciclo productivo, evitando su completa disposición final y la extracción de materias primas, para lo cual, se debe de expandir la cultura de reciclado y reuso, se debe de tener un cambio de paradigma, con nuevas maneras de producir, nuevos modelos de innovación de negocios y una nueva cultura de consumo; como esta ley mexicana es reciente, tiene varios vacíos legales y no se ha creado jurisprudencia sobre su contenido.

5. METODOLOGÍA

En este apartado se especifica el diseño de investigación que permitió alcanzar los objetivos planteados, así como la hipótesis, para lo cual, fueron analizados los comportamientos de la temperatura media, la radiación solar, velocidad del viento, precipitación y humedad relativa en el periodo 2014-2021, dicha información fue proporcionada por REMAS y corresponde a la estación meteorológica Chipilon. La información se analizó estadísticamente a través de: gráfica de barras, diagrama de caja, la Prueba Shapiro-Wilks y por regresión lineal. A través del servicio meteorológico Meteoblue, se analizaron los datos del periodo comprendido de 1979 a 2021, los cuales son obtenidos de: ERA5-ECMWF, Meteosat, ICON (Icosahedral Nonhydrostatic Weather and Climate Model), NEMS30, NEMS4, CMORPH, CHIRPS2. La herramienta Meteoblue, procesa y grafica los datos, al proporcionarle las coordenadas del punto que se va a analizar.

5.1 Clasificación Metodológica del Trabajo de Investigación

Cuadro 10. Clasificación metodológica del trabajo de investigación.

Paradigma de investigación	Positivista. El paradigma positivista se fundamenta en conocer la realidad mediante los fenómenos observables, que sean susceptibles de medición, con la posibilidad de poder ser comparados y replicables. Analiza las variables dentro de la relaciones causa-efecto y dependencia-independencia; todo ello es llevado a cabo con la construcción del objeto de estudio, comprendiendo la formulación hipotética del problema, con el diseño metodológico de la investigación, apoyado en la elección de técnicas de recopilación de datos que provean las posibilidades tanto de: medición, comprobación y comparación, incluyendo instrumentos para la estandarización y verificación de los datos, y finalmente, la discusión y presentación de resultados que dan cuenta del alcance del ejercicio de medición (Martínez, 2013).
Enfoque de estudio	Cuantitativo Trata con fenómenos que se pueden medir, a través de técnicas estadísticas para el análisis de los datos recogidos, su propósito radica en la descripción, explicación, predicción y control objetivo de sus causas y la predicción de su ocurrencia a partir del desvelamiento de las mismas, fundamentando sus conclusiones sobre el uso riguroso de la cuantificación, tanto de la recolección de sus resultados como de su procesamiento, análisis e interpretación (Paitán, <i>et</i>

	<i>al., 2015).</i>
Diseño de experimentación	No experimental-ex post facto (retrospectivo) No experimental. Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables, no hay variación o modificación intencional de alguna variable para medir su efecto sobre otra, sino que se observan los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural para después analizarlos (Vega, 2015). Ex post facto: Es el tipo de investigación en la cual el investigador realiza el análisis de los acontecimientos ya realizados o sucedidos por lo tanto, sus datos tienen fundamento en hechos cumplidos, porque ya ocurrieron y no se pueden alterar (Vega, 2015).
Prueba	No paramétrica Los datos observados no presentan una organización normal, no aleatoria. (Flores-Ruiz, <i>et al.</i> , 2017).
Perspectiva temporal	Transeccional La investigación transeccional, se centra en analizar cuál es el estado de una o varias variables en un momento dado o cuál es la relación entre un conjunto de variables en un momento en el tiempo. Se recolectan los datos en un solo tiempo o lapso, con el propósito de describir las variables y analizar su influencia e interrelación en un momento dado. (Hernández –Sampieri, <i>et al.</i> , 2018).
Análisis	Estudio de caso. Examen intensivo y en profundidad de diversos aspectos de un mismo fenómeno, que nos ayuda a comprender de qué manera los acontecimientos están en función los unos de los otros (Ramírez y Hervis, 2019).
Fuentes de información	Documental. Las fuentes de información documental son: INEGI, RAN, SAGARPA, SAGARPHA, REMAS, Meteoblue y de artículos indexados en bases de datos de: Scopus, Google Académico, Web of Science, Science Direct (Elsevier), Scielo, JStor, Redalyc, Latindex, Dialnet. El análisis estadístico fue realizado a través del programa R Studio.
Modelo de investigación	Hipotético deductivo. El modelo hipotético-deductivo, parte de premisas generales para llegar a una conclusión particular, que sería la hipótesis, plantea soluciones a problemas tanto teóricos como prácticos; comprendiendo los fenómenos y explicando su origen o las causas que la generen, su predicción y control. Busca establecer la verdad o falsedad de la hipótesis planteada (Sánchez, 2019).
Base de datos y tipos de datos.	Estación Chipilon-REMAS. Datos numéricos continuos: Son el resultado de una medición que se expresa en unidades.
Muestra	Datos de variables climatológicas Chipilon, periodo 2014-2021, sin datos faltantes, son 14,600 datos.
Variables	Temperatura media, humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad del viento.

Fuente: Elaboración propia, con base a: (Sánchez, 2019), (Ramírez y Hervis, 2019), (Martínez, 2013), (Paitán, *et al.*, 2015), (Hernández –Sampieri, *et a.*, 2018), (Flores-Ruiz, *et al.*, 2017), (Vega, 2015), (Martínez, 2013).

5.2. Confiabilidad y Validación

De acuerdo a Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la validez nos revela si el instrumento realmente mide lo que debe medir y la confiabilidad indica la consistencia de esa medida, para poder ser considerada la información confiable y precisa.

Los datos de las variables meteorológicas fueron proporcionados por REMAS-CESAVESON, las estaciones son monitoreadas y calibradas, periódicamente. INEGI, con su tecnología satelital, indicó que la estación meteorológica Chipilon, es la más cercana al parque fotovoltaico La Orejana.

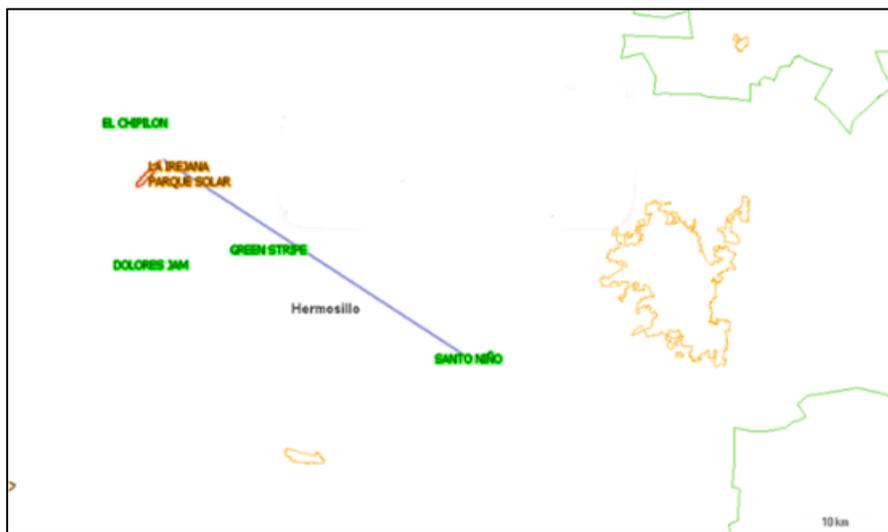


Figura 9. Localización de la estación meteorológica Chipilon
Fuente: INEGI (2021)

5.3. Delimitación Espacial y Temporal

5.3.1. Espacial

Esta investigación se realizó en Hermosillo, Sonora en el área rural denominada La Orejana, lugar donde se ubica el parque solar fotovoltaico La Orejana.

5.3.2 Temporal

La investigación se realizó en el año 2021. Se utilizaron datos de la estación meteorológica Chipilon del período comprendido de los años 2014-2021, de acuerdo a INEGI, la estación Chipilon, es la más cercana al parque solar fotovoltaico La Orejana; los datos fueron proporcionados por REMAS-CESAVESON.

5.4. Limitaciones de Estudio.

Los datos analizados solo son del periodo 2014-2021 y específicamente para el parque solar fotovoltaico La Orejana.

5.5 Procedimiento Metodológico

Se realizaron: gráficas de barras de la radiación solar, temperatura media, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento; series de tiempo (box-plot) de las mismas variables climatológicas; los datos se obtuvieron de la estación Chipilon de REMAS, del periodo 2014-2021; con Meteoblue, se constató el calentamiento global en la zona estudiada y la relación de datos con la de Chipilon; se procedió a verificar la normalidad de las variables usando la prueba Shapiro-Wilks al 95% y por medio de regresión lineal se analizó la relación entre las variables climatológicas estudiadas, para constatar cuales de las variables que tienen relación.

5.5.1 Gráficas de Barras.

Llamada también gráfica de columnas, es una representación sobre ejes cartesianos en el cual se distribuye en el eje X, los conceptos o indicadores y sobre ellos se levantan barras o rectángulos

de igual base cuya altura es proporcional a sus frecuencias y nunca deben de superponerse. En el eje Y se encuentra la escala de valores. Las barras pueden ser horizontales o verticales. Pueden ser usadas para representar datos cualitativos, cuantitativos de tipo discreto (Ruiz Molano, 2015).

La realización de las gráficas de barras de cada una de las variables climatológicas, se llevó a cabo para constatar su comportamiento anual, así mismo, para vislumbrar si la información anualiza de cada una de las variables estudiadas seguían una distribución normal o Gaussiana. La distribución normal es una distribución simétrica, es decir, el valor de la media, la mediana y la moda coinciden. Su importancia radica en que permite modelar numerosos fenómenos y es la base del análisis estadístico, ya que en ella se sustenta casi toda la inferencia estadística. Al conocer si las variables climatológicas estudiadas siguen una distribución normal, se sabrá con cuáles de las variables analizadas es más conveniente hacer modelos matemáticos de predicción.

5.5.2 Diagrama de Cajas

El diagrama de caja y bigotes o simplemente diagrama de cajas, (box-plot) es un tipo de gráfico que permite visualizar si la distribución de una variable es asimétrica o simétrica. Si la mediana se sitúa en el centro de la caja entonces la distribución es simétrica y tanto la media, mediana y moda coinciden, también sirve para comparar distribuciones entre grupos e identificar valores atípicos.

Primer cuartil: el 25% de los valores son menores o igual a este valor.

Mediana o Segundo Cuartil: Divide en dos partes iguales la distribución. De forma que el 50% de los valores son menores o igual a este valor.

Tercer cuartil: el 75% de los valores son menores o igual a este valor.

Rango Intercuartílico (RIC): Diferencia entre el valor del tercer cuartil y el primer cuartil.

Los bigotes determinan el límite para la detección de valores atípicos. Los valores atípicos son los puntos que están más allá del límite inferior o superior (Divagar *et al.*, 2017).

En esta tesis se realizó una secuencia de gráficas de caja y bigotes del periodo comprendido de 2014 a 2021, para poder analizar su comportamiento y para poder identificar los datos extremos, la mediana, los cuartiles, el rango intercuartílico y los valores atípicos de cada una de las variables climatológicas estudiadas durante los años 2014 al 2021.

5.5.3. Prueba Shapiro-Wilk

La prueba, Shapiro-Wilk, es una herramienta estadística de análisis de variables continuas o cuantitativas, se recomienda el uso de pruebas no paramétricas cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad. Se verificó en esta tesis la prueba de normalidad de los datos de la estación Chipilon, por medio de esta prueba, la cual también da buenos resultados en muestras grandes (Pedrosa *et al.*, 2015).

Las variables climatológicas analizadas, fueron: humedad relativa, temperatura media, velocidad del viento, radiación solar, precipitación, siendo en total 14,600 datos.

La prueba de Shapiro-Wilk es una de las pruebas no paramétricas más consolidadas y con mayor potencia estadística, esta prueba ha demostrado ser una de las más consistentes a la variación, al contar con un poder de detección razonable y al encontrarse muy cercana al 5% esperado, cuando es modificado el tamaño de la muestra. (Pedrosa *et al.*, 2015).

Por medio de esta prueba se identificará con más precisión, cuáles de las variables analizadas que siguen potencialmente una curva normal o distribución gaussiana, y puedan ser utilizadas para la creación de un modelo matemático de predicción del comportamiento de dicha variable.

5.5.4. Regresión Lineal

La regresión lineal ayuda a utilizar los datos para gestionar mejor la realidad. La regresión lineal se utiliza en la predicción, para crear un modelo de pronóstico para un conjunto de datos. Es muy utilizada para poder determinar si existe una relación entre una variable y otra, y que tan estrecha es esa relación (Carrasquilla-Batista, *et al.*, 2016).

A través de la regresión lineal se analizó la relación entre las variables y su relación con el funcionamiento de las celdas solares. Se analizó: radiación solar y velocidad del viento, radiación solar y humedad relativa, radiación solar y precipitación, radiación solar y temperatura, temperatura media y velocidad del viento, temperatura media y precipitación, temperatura media y humedad relativa, precipitación y velocidad del viento, precipitación y humedad relativa, velocidad del viento y humedad relativa.

5.5.5. Meteoblue

El servicio meteorológico Meteoblue.com, fue creado en Suiza, se encuentra prestando sus servicios en tiempo real y en línea, con información confiable, su fuente principal de datos es ERA5, modelo meteorológico global NEMS que tiene una resolución 30 km., el análisis es de quinta generación de ECMWF del clima mundial, los datos con que trabaja son de 1979 al día de hoy, puesto que diariamente se está actualizando la información, los datos son obtenidos de: ERA5-ECMWF, Meteosat, ICON (Icosahedral Nonhydrostatic Weather and Climate Model), NEMS30, NEMS4, CMORPH, CHIRPS2. Meteoblue, procesa y grafica los datos, al momento de proporcionarle las coordenadas del punto que se desea analizar (Meteoblue, 2021).

Por medio de Meteoblue, se analizó: el aumento de temperatura anual de la Orejana (1979-2021), variación anual de la precipitación (1979-1921), anomalías de las precipitaciones y temperatura, temperaturas máximas, días con heladas, velocidad del viento y la rosa de los vientos; lo cual ayudó a constatar los efectos del cambio climático en la zona de La Orejana (Meteoblue, 2021).

6. RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación provienen de las gráficas de barras de las variables meteorológicas, temperatura media, humedad relativa, radiación solar, precipitación, velocidad del viento y la rosa de los vientos, del período comprendido de los años 2014-2021 de la estación Chipilon de REMAS. Los resultados obtenidos, muestran a simple vista que las variables anteriormente mencionadas, no presentaron un comportamiento de curva normal.

Radiación solar: El año donde la región de la Orejana de Hermosillo, Sonora, recibió mayor radiación solar fue 2016 con 257.87W/m^2 y el año donde recibió menor radiación solar fue 2015 con 247.17 W/m^2 .

Temperatura promedio. El año que tuvo mayor temperatura promedio fue 2017, con 24.03°C y el año en que se tuvo menor temperatura fue 2019, con 22.82°C

Humedad relativa. El año que se tuvo mayor humedad relativa fue 2015 con 55.04% y el año de menor humedad relativa fue 2018 con 47.4% .

Precipitación: El año que presentó menor precipitaciones fue el 2020 con 0.3mm . y el año con mayor precipitación fue 2015 con 0.85mm .

Velocidad del viento: el año con menos velocidad del viento, porque se tuvo menos viento fue el 2016 con 5.45 km/h y el año más ventoso o con mayor velocidad de vientos fue 2018 con 5.99km/h .

A través de la gráfica de barras de las variables meteorológicas antes mencionadas no se puede tener una visión clara de su comportamiento. Solo se pueden relacionar lógicamente que, el año 2015, fue el año con mayor precipitación y por ende fue el año con mayor humedad relativa y con menor radiación solar.

El año 2016 fue el año con mayor radiación solar y el que tuvo menos días ventosos.

El año 2018 fue el año que tuvo mayor velocidad del viento y menor humedad relativa.

Se puede apreciar que los meses de verano presentan una mayor duración de las horas de sol, con mayor temperatura y mayor radiación solar.

Con la representación gráfica de cada una de las variables climatológicas analizadas (2014-2021), se cumplió con el primer objetivo específico en lo relacionado a la realización de las gráficas de barras.

En relación a la hipótesis, las variables temperatura, radiación solar y humedad relativa, por medio

de su representación en grafica de barras, no pueden indicarnos su incidencia en la generación de energía solar fotovoltaica, solo muestran que su comportamiento no presentan una curva normal, aun siendo cíclicas las estaciones del año, estudiándose su comportamiento en una sola región (La Orejana) y siguiendo una secuencia consecutiva anual.

6.1 Gráficas de Barra del Análisis Anual de las Variables Meteorológicas de la Estación Chipilon

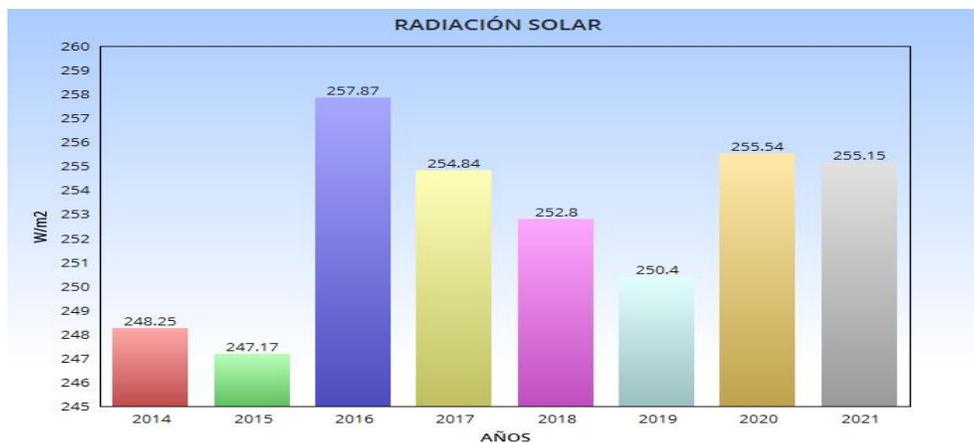


Figura 10. Análisis anual de la radiación solar (2014-2021)
Fuente: Elaboracion propia con base a datos de estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

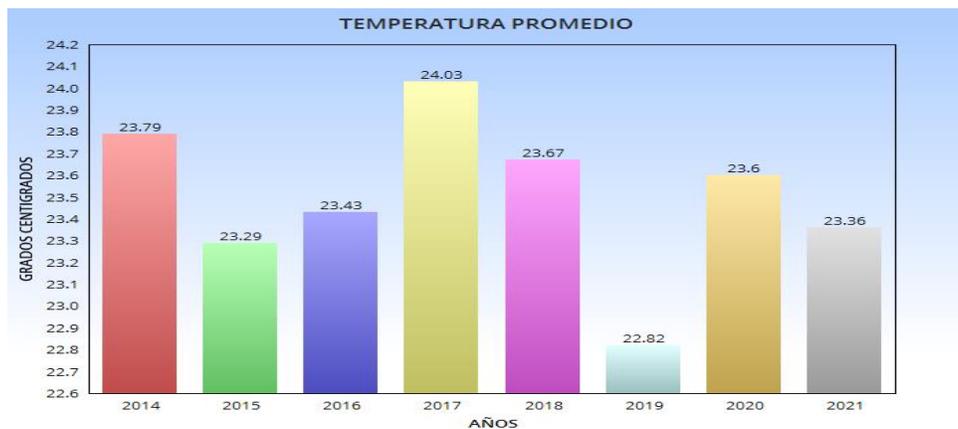


Figura 11. Análisis anual de temperatura promedio (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

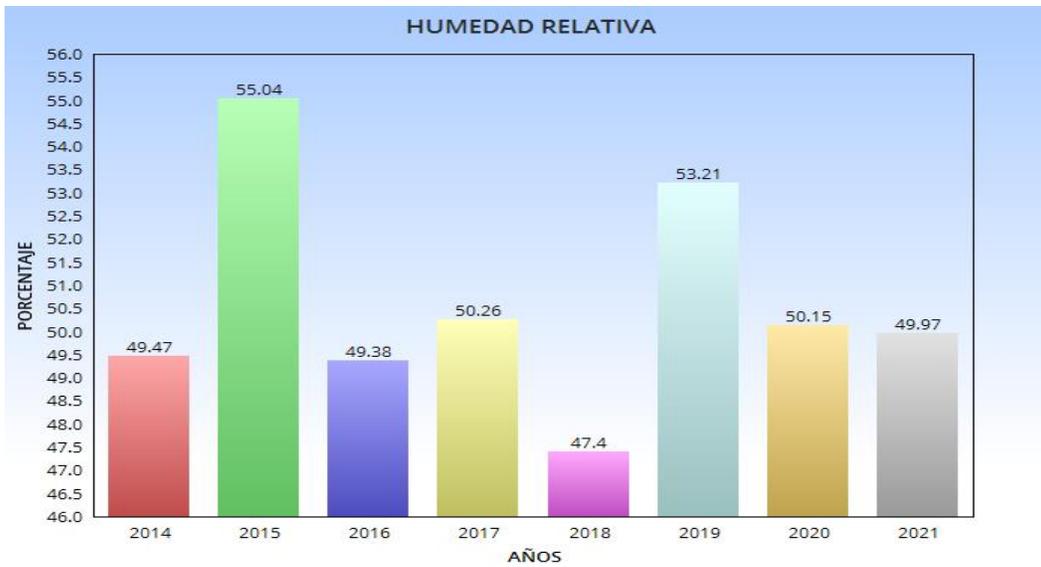
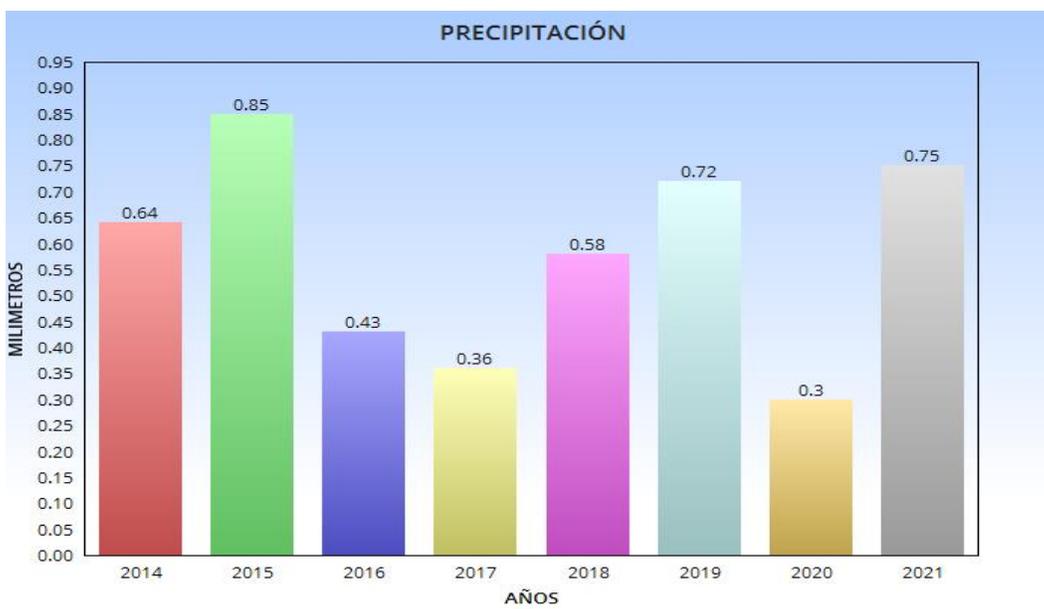


Figura 12. Análisis anual de humedad relativa (2014-2021)
 Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)



Figuran 13 Análisis anual de precipitación (2014-2021)
 Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)



Figura 14. Análisis anual de velocidad del viento (2014-2021)
 Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021).

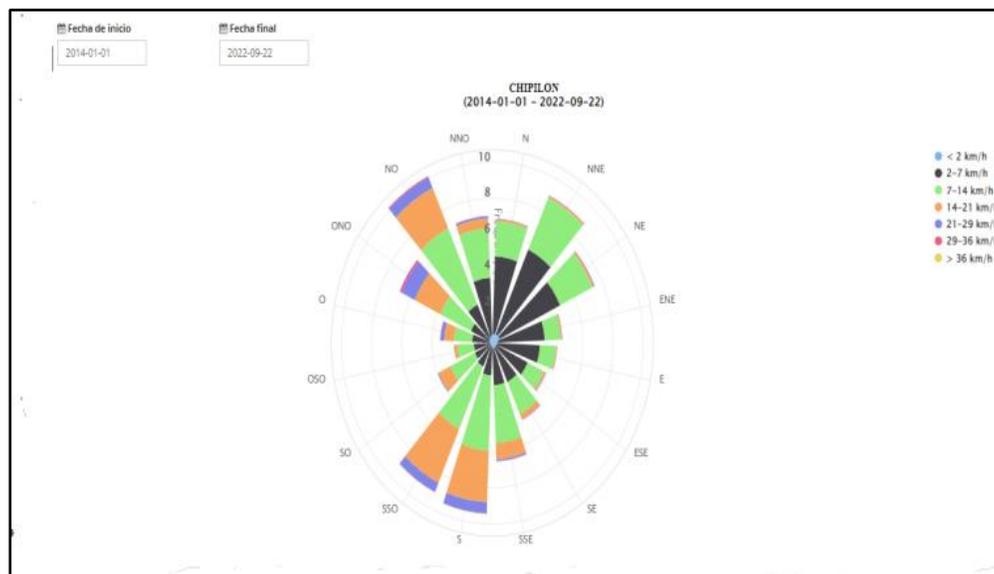


Figura 15. Rosa de los vientos (2014-2021)
 Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

6.2 Diagrama de Cajas (box-plot) de las Variables Meteorológicas

A través de la representación gráfica de cajas (box-plot) de cada una de las variables estudiadas

(2014-2021) se pudo constatar que: el comportamiento en el periodo de tiempo estudiado no sigue una distribución normal y que a través de este tipo de diagrama, no se puede predecir el comportamiento futuro de estas variables. Sirvió para comprobar cuál fue la variable cuyos datos presentaron potencialmente una distribución normal en su secuencia y si se presentan valores atípicos, los cuales son generados la mayoría de las veces por cambios ambientales.

En relación a los objetivos específicos, con la representación gráfica de cada una de las variables estudiadas se cumplió completamente con primer objetivo específico.

En relación a la hipótesis, por medio del diagrama de cajas, no se puede conocer la incidencia de las variables climatológicas en la incidencia de la generación de energía en la planta solar fotovoltaica La Orejana.

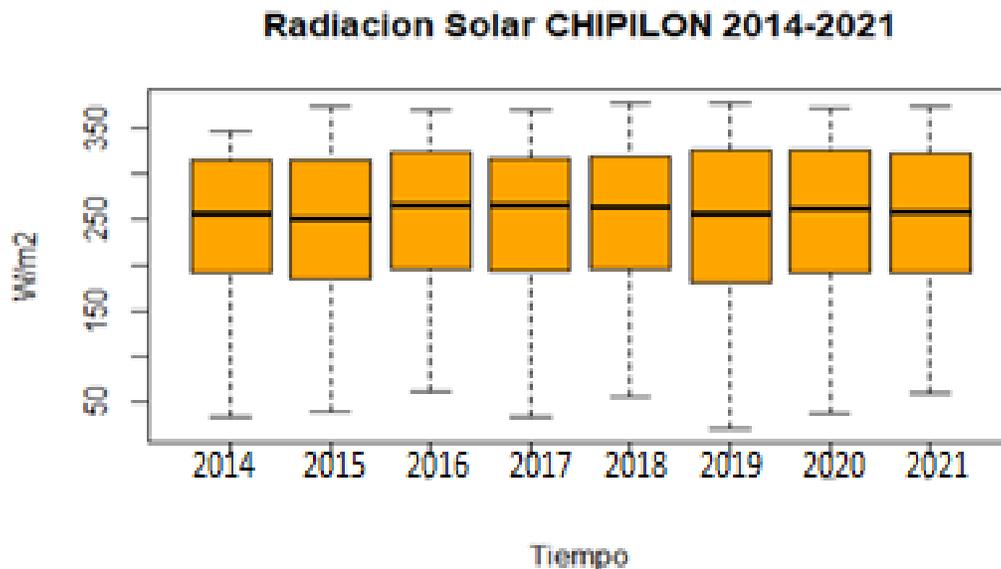


Figura 16 Diagrama de caja de la radiación solar (2014-2021)

Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

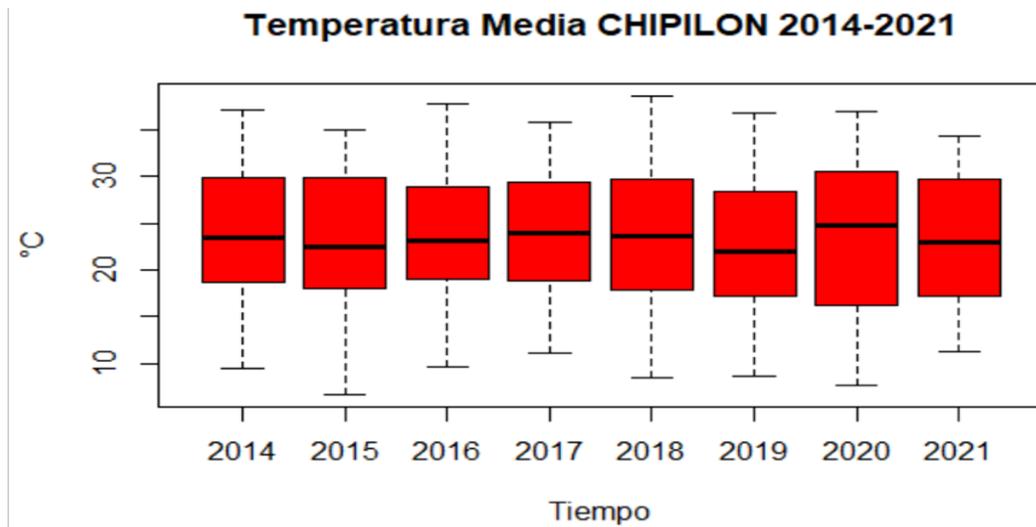


Figura 17. Diagrama de caja de la temperatura media (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

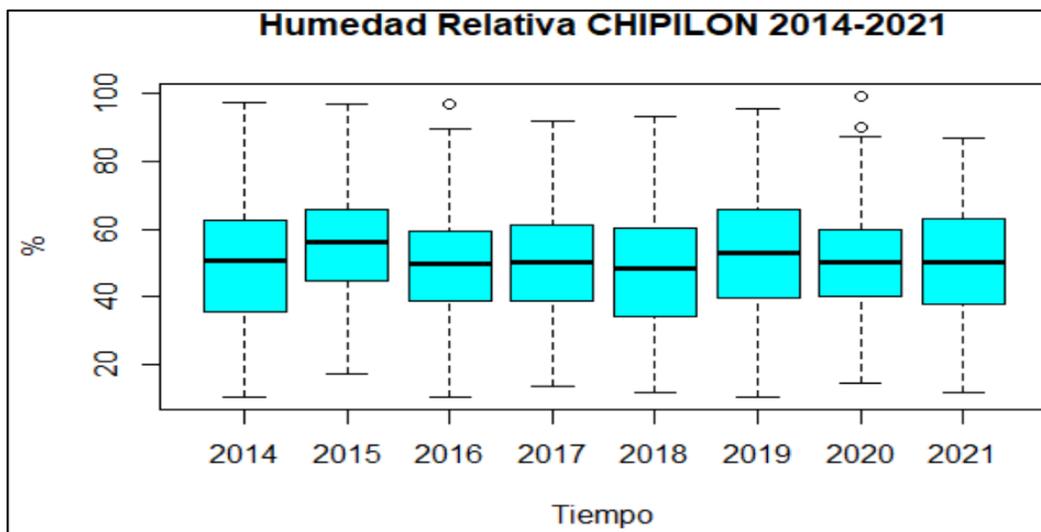


Figura 18. Diagrama de caja de la humedad relativa (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

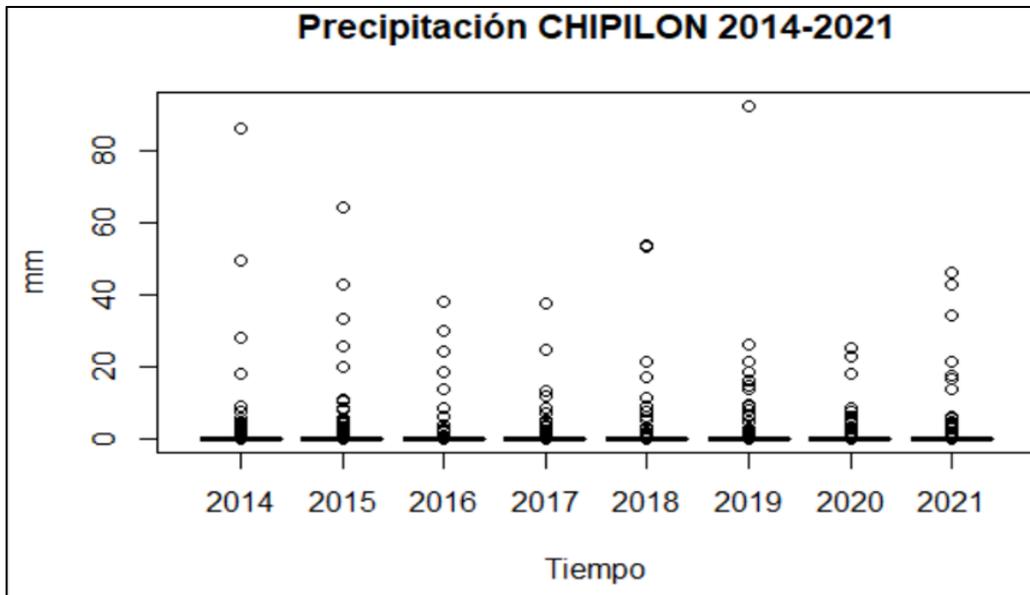


Figura 19. Diagrama de caja de la precipitación (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

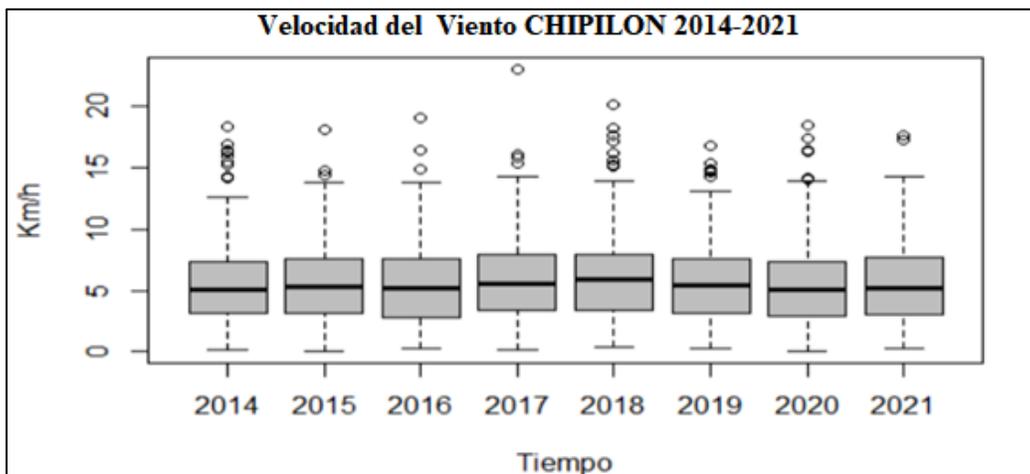


Figura 20. Diagrama de caja de la velocidad del viento (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia, con base a datos de la estación Chipilon-REMAS (2014-2021)

6.3 Análisis de las Variables Meteorológicas por Meteoblue

El servicio meteorológico Meteoblue, se encuentra en línea, en tiempo real y es uno de los más confiables, su fuente de datos proviene de ERA5, su modelo meteorológico global es NEMS el cual cuenta con una resolución de 30 km, el análisis es de quinta generación del ECMWF del clima

mundial, los datos que proporciona son de 1979 a la fecha.

A través de la información que proporcionó el servicio meteorológico Meteoblue, se cumplió el segundo objetivo específico: Determinar el aumento de temperatura en la zona de La Orejana, por el calentamiento global a través de Meteoblue, lo cual quedó demostrado en la figura 21, el aumento de temperatura en el periodo (1979-2021) en el parque solar fotovoltaico La Orejana. Así mismo, la información concuerda con lo indicado por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, que ha indicado que la temperatura de la tierra ha aumentado 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2019).

Quedó demostrado con la figura 22, la disminución de las lluvias en la zona de La Orejana; la figura 23, indica las anomalías mensuales de la temperatura y la precipitación en la zona durante el periodo 1979-2021, con la figura 24 se indicó el aumento de los días soleados, la figura 25 especifica el aumento de días con temperaturas máximas y los pocos días que se han presentado heladas, la figura 26 muestra que en el periodo comprendido de 1979 al 2021, se ha tenido un aumento de días secos. Lo cual concuerda con lo indicado por López y colaboradores (2019).

En relación a la hipótesis planteada, la información de Meteoblue, no indica la influencia de las variables meteorológicas en el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas para la producción de energía, indica que en la zona donde se ubica el parque solar fotovoltaico La Orejana, se ha presentado un aumento en la temperatura y han disminuido las precipitaciones, con una clara tendencia progresiva hacia la aridez, puesto que se encuentra ubicado en una zona desértica.

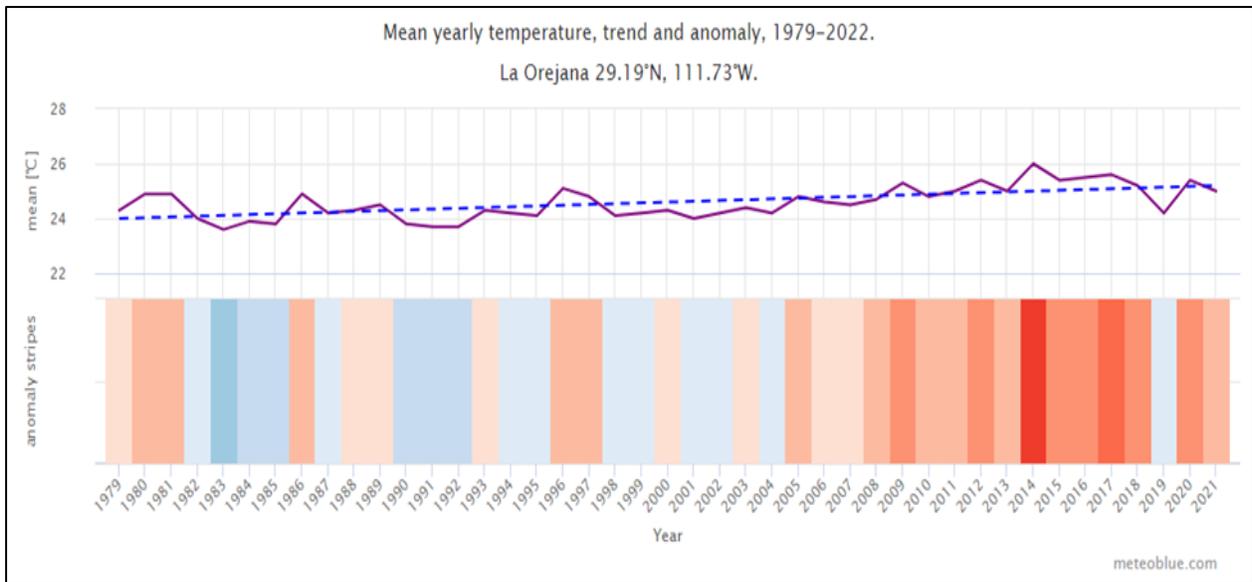


Figura 21. Cambio anual de la temperatura de la zona de La Orejana (1979-2021)
Fuente: Meteoblue.com https://www.meteoblue.com/es/climate-change/laorejana_m%c3%a9xico_8944061

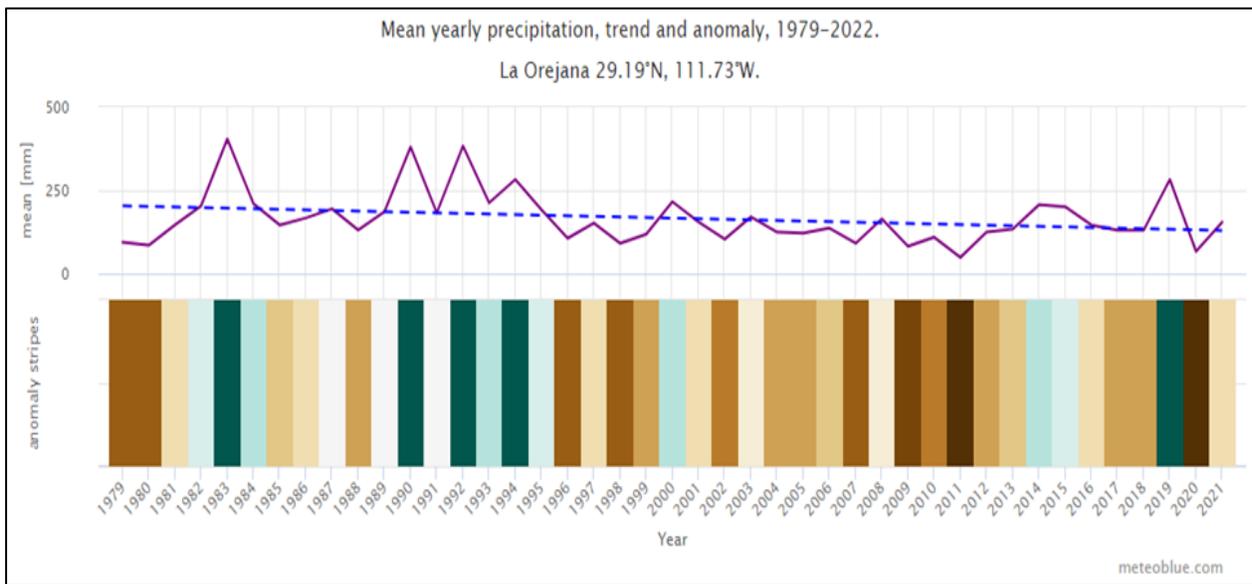


Figura 22 Variación anual de la precipitación en la zona de La Orejana (1979-2021)
Fuente Meteoblue.com: https://www.meteoblue.com/es/climate-change/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

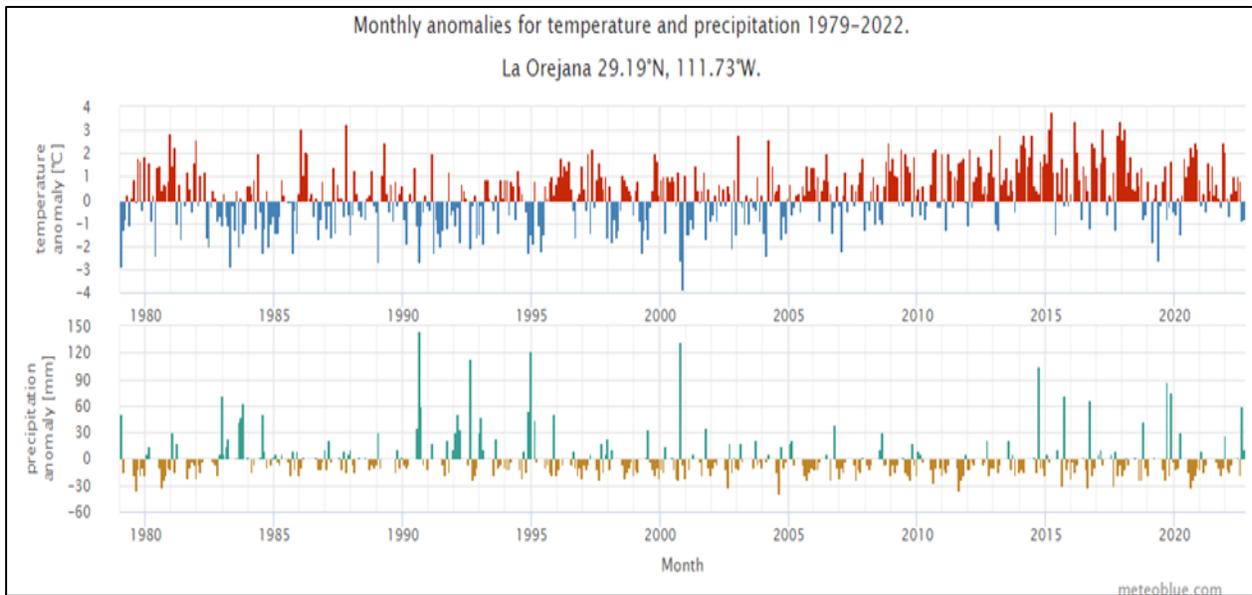


Figura 23. Anomalías mensuales de temperatura y precipitación en la zona La Orejana.

Fuente: Meteoblue.com https://www.meteoblue.com/es/climate-change/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

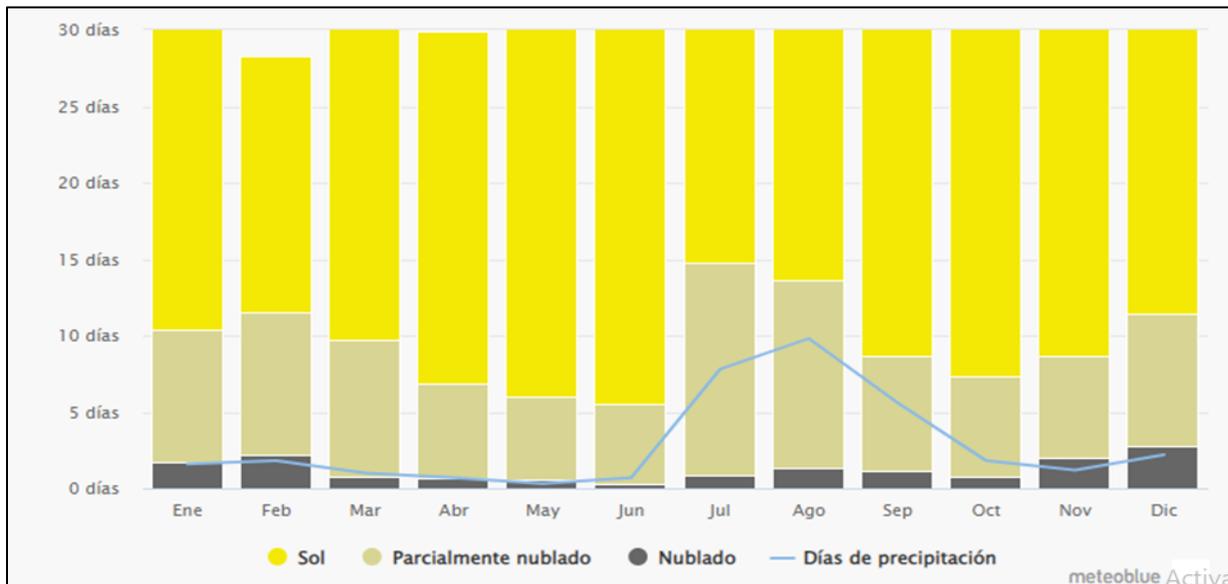


Figura 24 Cielo nublado, sol y días de precipitación de la zona La Orejana (1979-2021)

Fuente: Meteoblue.com

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

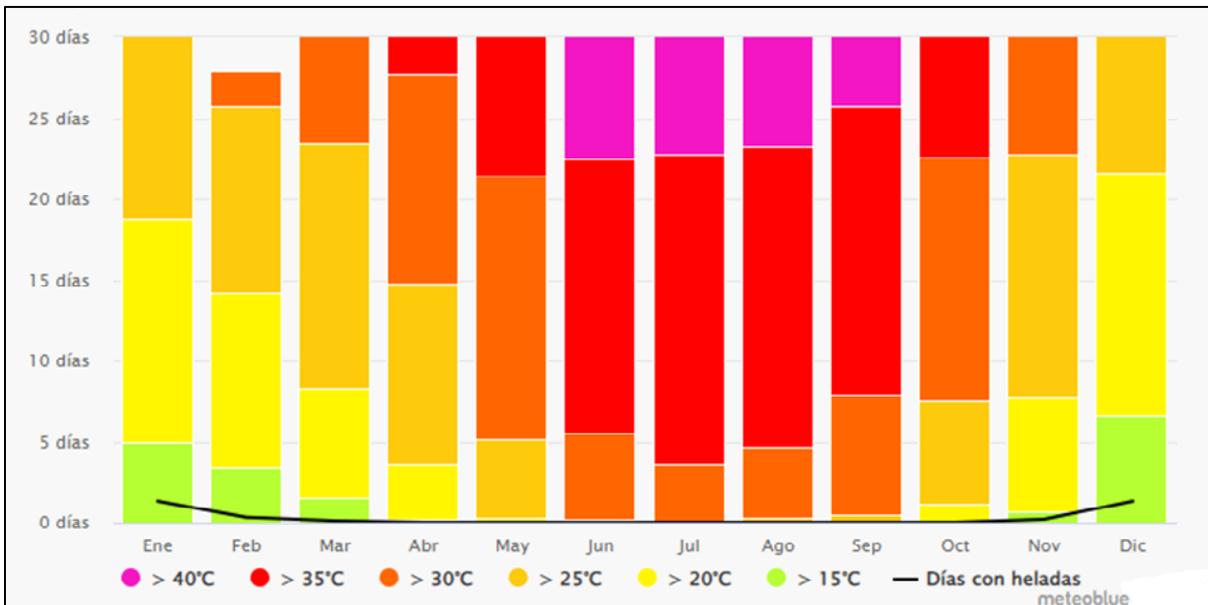


Figura 25 Días con temperaturas máximas y días con heladas de la zona La Orejana (1979-2021)

Fuente: Meteoblue.com

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/laorejana_m%c3%a9xico_8944061



Figura 26 Cantidad de precipitación y días secos de la zona La Orejana (1979-2021)

Fuente: Meteoblue.com

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

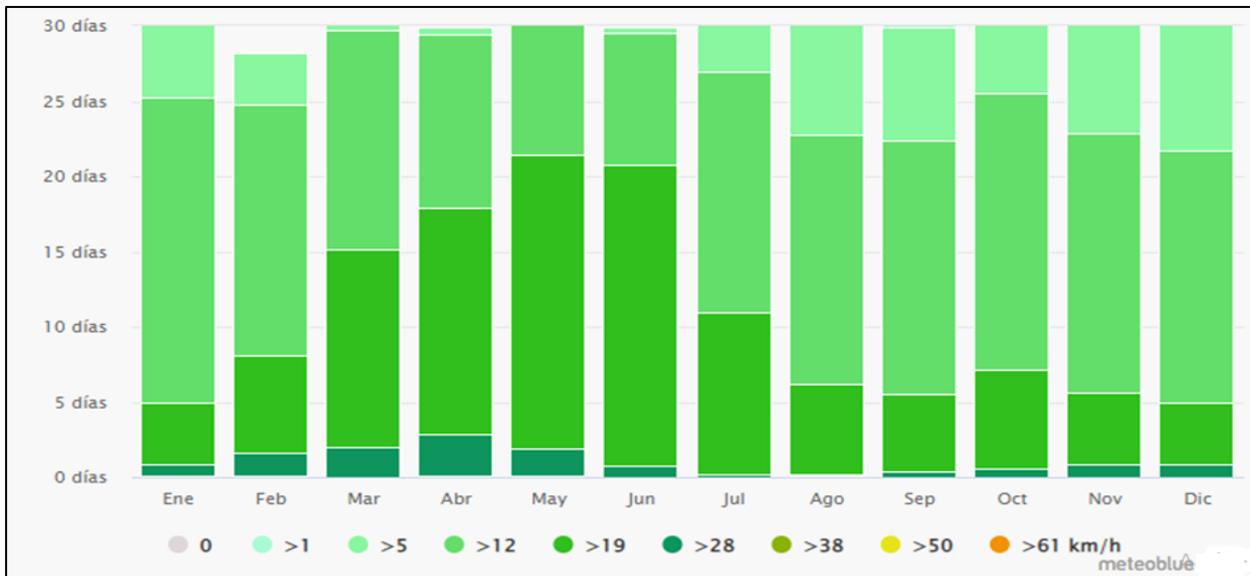


Figura 27 Velocidad del viento de la zona La Orejana (1979-2021)

Fuente: Meteoblue.com

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

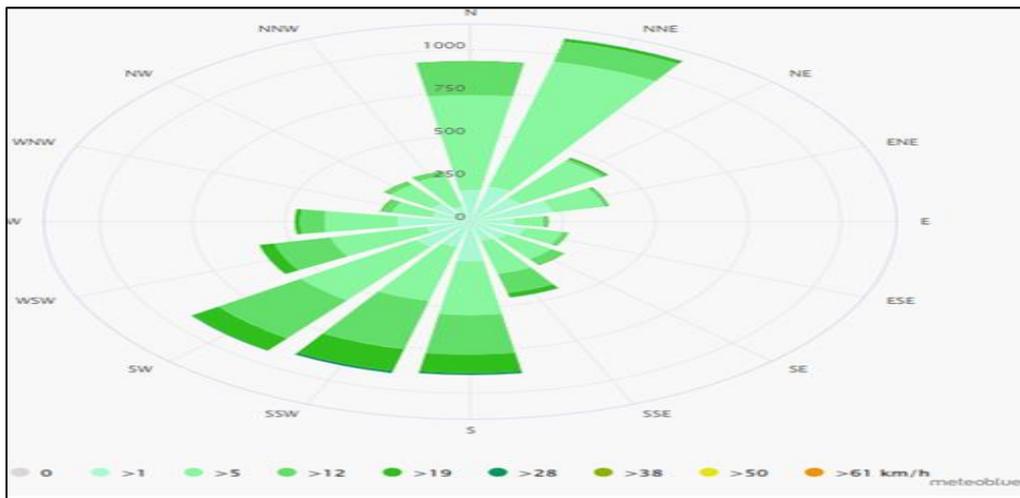


Figura 28 La Rosa de los Vientos de la zona La Orejana (1979-2021)

Fuente Meteoblue.com:

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-orejana_m%c3%a9xico_8944061

Los datos de Meteoblue, pueden ser utilizados bajo la licencia Creative Commons "Attribution + Non-commercial (BY-NC)".

Creative Commons es una licencia que se rige bajo el concepto de Copyleft, en la cual el autor permite el uso total o parcial de su obra, pero bajo unas condiciones especificadas por el propio

autor. Las cuales generalmente son: Indicar su autoría; que es Meteoblue.com, en el pie de cada imagen o en los créditos finales. El nombre del autor, figura como autor de la tesis. Debe de ser no comercial, los datos de Meteoblue son de uso no lucrativo, (para realizar trabajos escolares). Meteoblue no da permiso para hacer ningún tipo de modificaciones de su obra.

6.4 Análisis de las Variables Meteorológicas por la Prueba Shapiro-Wilks

Con el análisis de las variables: temperatura media, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y precipitación (2014-2021) por medio de la prueba Shapiro-Wilks se cumple con el tercer objetivo específico.

La humedad relativa y temperatura promedio, presentaron un comportamiento potencial de la curva normal. Por lo tanto, los datos sin ser alterados matemáticamente, pueden ser usados para modelos matemáticos (apegados a la realidad) de predicción de humedad relativa y temperatura en la zona donde se ubica el parque solar fotovoltaico La Orejana, en Hermosillo, Sonora.

Es de suma importancia tomar en cuenta que, la eficiencia de una celda solar se ve afectada por su temperatura de operación (Khatib y Elmenreich, 2016).

Las celdas fotovoltaicas, tienen un mejor rendimiento a bajas temperaturas o temperatura media, lo cual es debido a que con altas temperaturas su potencia se reduce al incidir directamente en la baja de la tensión por cada grado centígrado que se eleve la temperatura (Khatib y Elmenreich, 2016).

En regiones como Hermosillo, el efecto negativo del calor sobre el rendimiento de las celdas solares se compensa, por el aumento de horas sol o también llamadas horas luz, durante las estaciones de primavera y verano.

En relación a la hipótesis planteada, se indica que, las variables temperatura y humedad relativa, son las variables analizadas que influyen directamente en el funcionamiento de las celdas solares fotovoltaicas.

La temperatura alta limita la potencia de las celdas fotovoltaicas, lo cual es debido a que una gran cantidad de energía solar incidente, no se convierte en energía eléctrica sino que se transforma en calor. Las células fotovoltaicas convierten solamente del 10% al 20 % de la energía solar en

electricidad, más del 80-90 % de la radiación solar que cae sobre las celdas fotovoltaicas no se convierten en energía eléctrica, sino que, es reflejada o convertida en energía térmica, lo cual conlleva el aumento de temperatura en la celda fotovoltaica, teniendo como consecuencia, una caída en su eficiencia de conversión de energía solar en electricidad, debido a la significativa reducción en el voltaje de circuito abierto de cada celda fotovoltaica (Ozgoren *et al*, 2013).

Los paneles solares de película delgada se ven menos afectados por la temperatura, que los monocristalinos y los policristalinos (Adeeb *et al.*, 2019).

Las celdas solares fotovoltaicas, pueden experimentar degradación a corto plazo, perdiendo su eficiencia de conversión, a largo plazo se producen una serie de daños irreversibles por el exceso de temperatura (Royne *et al.*, 2005).

La humedad provoca en las celdas corrosión y degradación, con las subsecuentes fallas en su funcionamiento; se están llevando a cabo, investigaciones con otros materiales degradables, para proteger a la celdas contra humedad, corrosión y quebraduras, que sean de bajo costo tanto para su compra como para su mantenimiento.(Leal *et al.*,2015).

Cuadro 11. Prueba Shapiro-Wilks, al 95% para la velocidad del viento (2014-2021)

Parámetro	Valor
Valor p	< 0.001
W desviación significativa de la normalidad	0.9642
Tamaño de la muestra (n)	2922
Promedio (\bar{x})	5.6385
<u>Mediana</u>	5.32
Desviación estándar	3.2416
Suma de cuadrados	30693.9754
b	172.0281
Oblicuidad	0.7374
Forma de asimetría	 Asimétrica , derecha/positiva (pval=0)
Exceso de curtosis	0.7542
Forma de curtosis	 Leptokurtic , colas largas y pesadas (pval=0)

Fuente: Elaboración propia, con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Cuadro 12. Prueba Shapiro-Wilks al 95% para la radiación solar, (2014-2021)

Parámetro	Valor
Valor p	< 0.001
W desviación significativa de la normalidad	0.9602
Tamaño de la muestra (n)	2922
Promedio (\bar{x})	252.6717
Mediana	259.415
Desviación estándar	75.0447
Suma de cuadrados	16450210.08
b	3974.2639
Oblicuidad	-0.3642
Forma de asimetría	 Asimétrica , izquierda/negativa (pval=0)
Exceso de curtosis	-0.7101
Forma de curtosis	 Platykurtic , colas cortas y delgadas (pval=0)

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Cuadro 13. Prueba Shapiro-Wilks, al 95% para la precipitación (2014-2021)

Parámetro	Valor
Valor p	0
W desviación significativa de la normalidad	0.1212
Tamaño de la muestra (n)	2922
Promedio (\bar{x})	0.5836
Mediana	0
Desviación estándar (S)	4.2149
Suma de cuadrados	51891.5448
B	79.3199
Oblicuidad	12.4624
Forma de asimetría	 Asimétrica , derecha/positiva (pval=0)
Exceso de curtosis	196.9331
Forma de curtosis	 Leptokurtic , colas largas y pesadas (pval=0)

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021).

Cuadro 14. Prueba Shapiro-Wilks, al 95% para la humedad relativa (2014-2021)

Parámetro	Valor
Valor p	4.843e-8
W desviación significativa de la normalidad	0.9953
Tamaño de la muestra (n)	2921
Promedio (\bar{x})	50.6143

Mediana	50.94
Desviación estándar (S)	16.5227
Suma de cuadrados	797161.2073
B	890.7242
Oblicuidad	0.01909
Forma de asimetría	 Potencialmente Simétrico (pval=0.673)
<u>Exceso de curtosis</u>	-0.4805
Forma de curtosis	 Platykurtic , colas cortas y delgadas (pval=0)

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Cuadro 15. Prueba Shapiro-Wilks, al 95% para la temperatura promedio (2014-2021)

Parámetro	Valor
Valor p	0
W desviación significativa de la normalidad	0.9646
Tamaño de la muestra (n)	2922
Promedio (\bar{x})	23.5026
Mediana	23.2
Desviación estándar (S)	6.6339
Suma de cuadrados	128547.8356
B	352.1357
Oblicuidad	-0.04737
Forma de asimetría	 Potencialmente Simétrico (pval=0.296)
<u>Exceso de curtosis</u>	-1.1216
Forma de curtosis	 Platykurtic , colas cortas y delgadas (pval=0)

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021).

6.5 Regresión lineal de las variables meteorológicas

Después de analizar los datos de las variables, por medio de regresión lineal, que permite poder determinar el comportamiento que tiene una variable con respecto a la otra, su comportamiento quedó evidenciado en las gráficas que se presentan en esta sección, junto con sus ecuaciones respectivas que representan la regresión lineal.

La información obtenida fue la siguiente:

-Se presentó una relación directa fuerte entre la radiación solar y la temperatura, lo cual indica que

si aumenta la radiación solar, aumenta la temperatura, si disminuye la radiación solar, disminuye la temperatura, lo cual es importante al momento de realizar un modelo matemático de predicción.

-En segundo orden de importancia se indica que, hay una relación inversa moderada entre las variables radiación solar y la humedad relativa, información también importante al momento de realizar un modelo matemático, se tiene una relación directa débil entre la precipitación y la humedad relativa.

-Así mismo, se indica que se tiene una relación directa muy débil las variables relacionadas de la radiación solar y la velocidad del viento y la temperatura con la velocidad del viento, la temperatura con la precipitación, la velocidad del viento con la precipitación.

- Se presenta una relación inversa muy débil entre las variables: radiación solar y precipitación, temperatura y humedad relativa, velocidad del viento y la humedad relativa en la zona analizada.

Cuadro 16. Tipo de relación entre las variables meteorológicas a través de regresión lineal.

Radiación solar y velocidad del viento	Relación directa muy débil.
Radiación solar y humedad relativa	Relación inversa moderada
Radiación solar y precipitación	Relación inversa muy débil
Radiación solar y temperatura	Fuerte relación directa
Temperatura media y velocidad del viento	Relación directa muy débil
Temperatura media y precipitación	Relación directa muy débil
Temperatura media y humedad relativa	Relación inversa muy débil
Precipitación y velocidad del viento	Relación directa muy débil
Precipitación y humedad relativa	Relación directa débil
Velocidad del viento y humedad relativa	Relación inversa muy débil

Fuente: Elaboración propia, con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

En relación a los objetivos específicos; se cumple el objetivo específico 4, el cual estipula: establecer la asociación entre las variables meteorológicas, por medio de regresión lineal.

En relación a la hipótesis: Las variables: temperatura, radiación solar y humedad relativa, son las que inciden en la generación de energía solar fotovoltaica en la región de La Orejana.

En esta investigación, el análisis estadístico de regresión lineal, indica que hay una relación directa fuerte entre la radiación solar y la temperatura en la zona de La Orejana, lo cual puede servir para la realización de un modelo estadístico de predicción o pronóstico de la radiación solar y la temperatura, con datos que no tengan ningún tipo de alteración matemática, es decir, que se

encuentren completamente acorde a la realidad.

Se encuentra una relación inversa moderada entre la radiación solar y la humedad relativa, lo cual también es útil, al momento de realizar un modelo matemático de predicción, sin alteración de datos.

La temperatura se encuentra relacionada directamente con la radiación solar, por lo tanto, si aumenta la radiación solar, también aumenta la temperatura.

En relación a la humedad relativa, se relaciona inversamente con la radiación solar, es decir, si aumenta la radiación solar disminuye la humedad relativa, así mismo, hay altos niveles de humedad relativa cuando hay bajos niveles de radiación solar, lo cual es producto de las lluvias o días nublados.

Esta investigación indica que estadísticamente, no existe una relación perfecta entre la precipitación, viento, radiación solar, la temperatura promedio y la humedad relativa, en la zona donde se encuentra ubicado el parque solar fotovoltaico La Orejana, en Hermosillo, Sonora.

A continuación se presenta el análisis estadístico de las variables meteorológicas por medio de regresión lineal, así como sus gráficas correspondientes.

Los análisis que se realizaron fueron: radiación solar y velocidad del viento, radiación solar y humedad relativa, radiación solar y precipitación, radiación solar y temperatura media, la temperatura media y la velocidad del viento, temperatura media y precipitación, temperatura media y humedad relativa, precipitación y velocidad del viento, precipitación y humedad relativa, velocidad del viento y la humedad relativa.

Regresión lineal de la radiación solar y la velocidad del viento (2014-2021).

$$\hat{Y} = 4.1221 + 0.006002X$$

X predijo Y, $R^2 = .019$, $F(1,2920) = 57.48$, $p < .001$.

$\beta = .006$, $p < .001$.

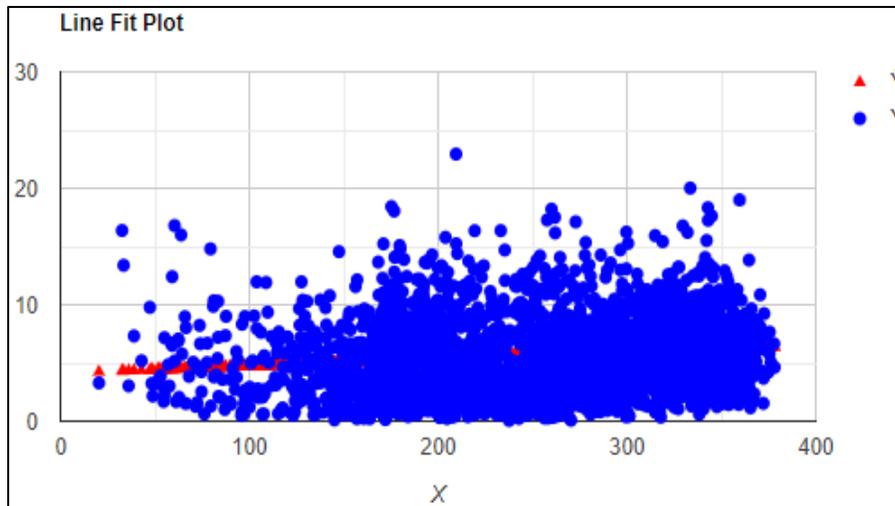


Figura 29. Regresión lineal de radiación solar y velocidad del viento (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es 0.0193. Significa que el 1,9% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0.1389. Significa que hay una relación directa muy débil entre las variables X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 57.4802$, valor $p = 4.563e-14$.

Dado que el valor $p < \alpha (0,05)$, rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \epsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \epsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 7.5816$, valor $p = 4.563e-14$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

Regresión lineal de la radiación solar y la humedad relativa (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 73.138 - 0.08908X$$

X predijo Y, $R^2 = .16$, $F(1,2920) = 569.73$, $p < .001$.

$\beta = -.089$, $p < .001$.

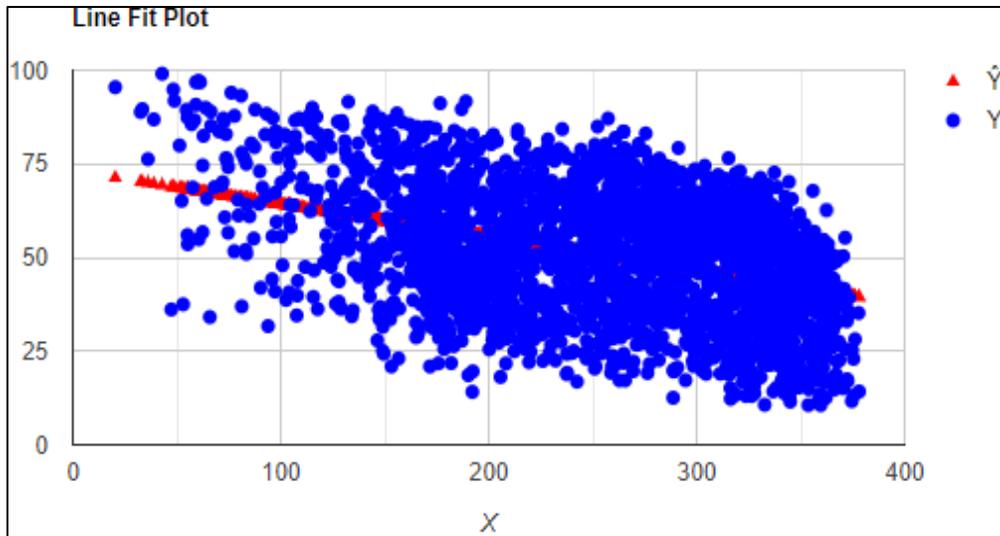


Figura 30. Regresión lineal de radiación solar y humedad relativa (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.1633. Significa que el 16,3% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a -0,4041. Significa que existe una relación inversa moderada entre X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 569,7282$ valor $p = 0$. Dado que el valor $p < \alpha(0,05)$, rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La pendiente (a): dos colas, $T(2920) = -23.869$, valor $p = 0$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 74.354$, valor $p = 0$.

Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero.

Regresión lineal de la radiación solar y precipitación (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 2.9374 - 0.009316X$$

X predijo Y, $R^2 = .028$, $F(1,2920) = 82.61$, $p < .001$.

$$\beta = -.0093, p < .001$$

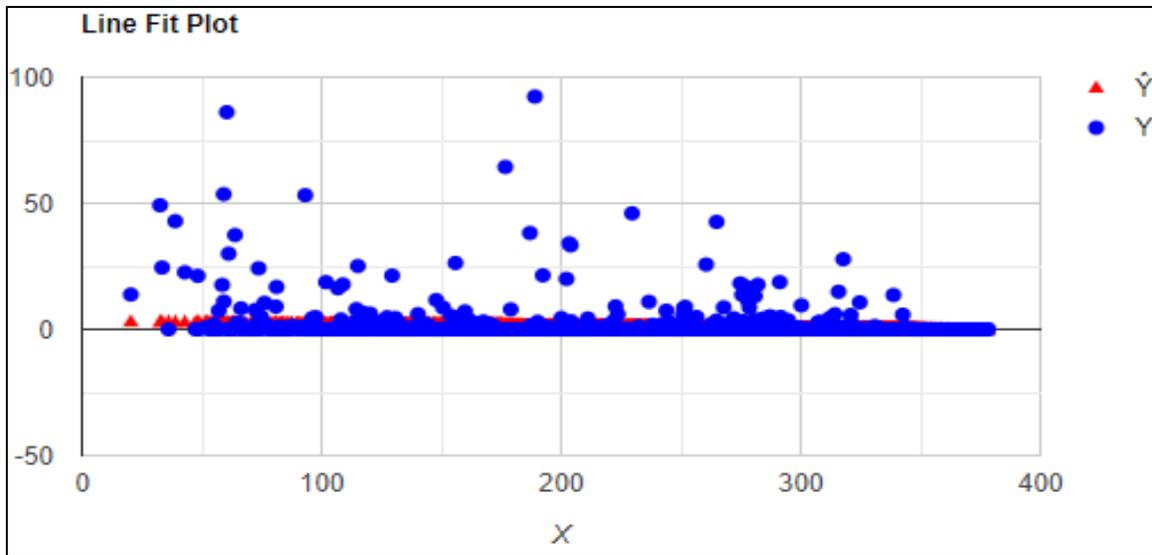


Figura 31. Regresión lineal de radiación solar y precipitación (2014-2021)

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.02751. Significa que el 2,8% de la variabilidad de Y está explicada por X, la correlación (R) es igual a -0,1659. Significa que existe una relación inversa muy débil entre X e Y. Regresión general: de cola derecha, $F(1,2920) = 82.6063$, valor $p = 0$.

Dado que el valor $p < \alpha (0,05)$, rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = -9.0888$, valor $p = 0$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 10.873$, valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero.

Regresión lineal de la radiación solar y la temperatura media (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 9.8834 + 0.0539X$$

X predijo Y, $R^2 = 0.37$, $F(1,2920) = 1728.14$, $p < .001$.

$\beta = .054, p < .001.$

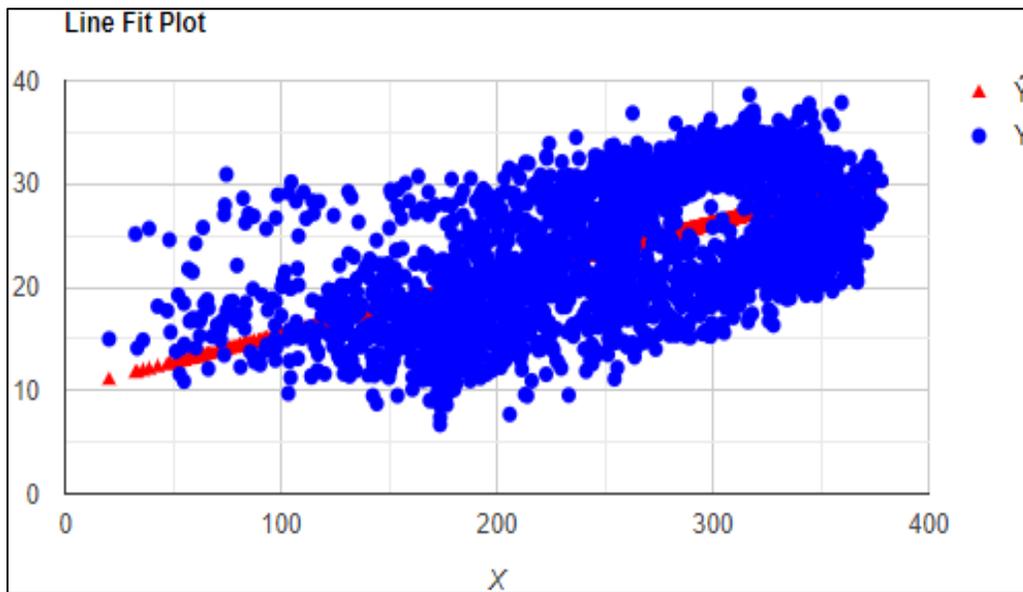


Figura 32 .Regresión lineal de radiación solar y temperatura media (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.3718. Significa que el 37,2% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0,6097. Significa que existe una fuerte relación directa entre X e Y.

Regresión general: de cola derecha, $F(1,2920) = 1728,139$ valor $p = 0$. Dado que el valor $p < \alpha$ (0,05), rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 41.5709$, valor $p = 0$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general. El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 28.9195$, y el valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero.

Regresión lineal de temperatura media y velocidad del viento (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 5.3167 + 0.01369X$$

$$R^2 = 0.00079, F(1,2920) = 2.29, p = 0.130$$

$$\beta = .014, p = 0.130.$$

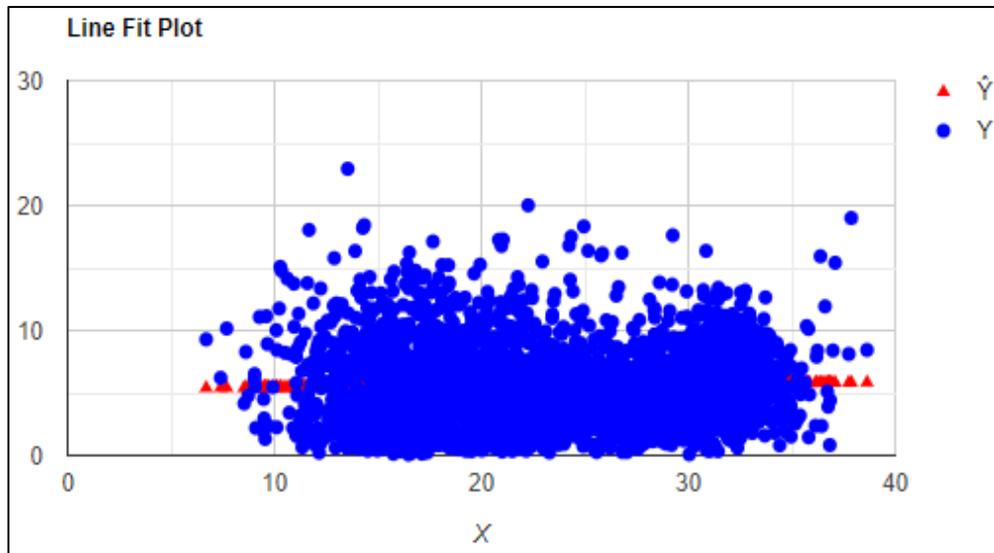


Figura 33. Regresión lineal de temperatura media y velocidad del viento (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.0007852. Significa que el 0,08% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0.02802. Significa que hay una relación directa muy débil entre X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 2.2946$, valor $p = 0.1299$. Dado que $p\text{-valor} \geq \alpha$ (0.05), aceptamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, no proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 1,5148$, valor $p = 0.1299$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 24.0855$, valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero.

Regresión lineal de temperatura media y precipitación (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 0.1798 + 0.01718X$$

$$R^2 = 0.00073, F(1,2920) = 2.14, p = 0.144.$$

$\beta = 0.017, p = 0.144.$

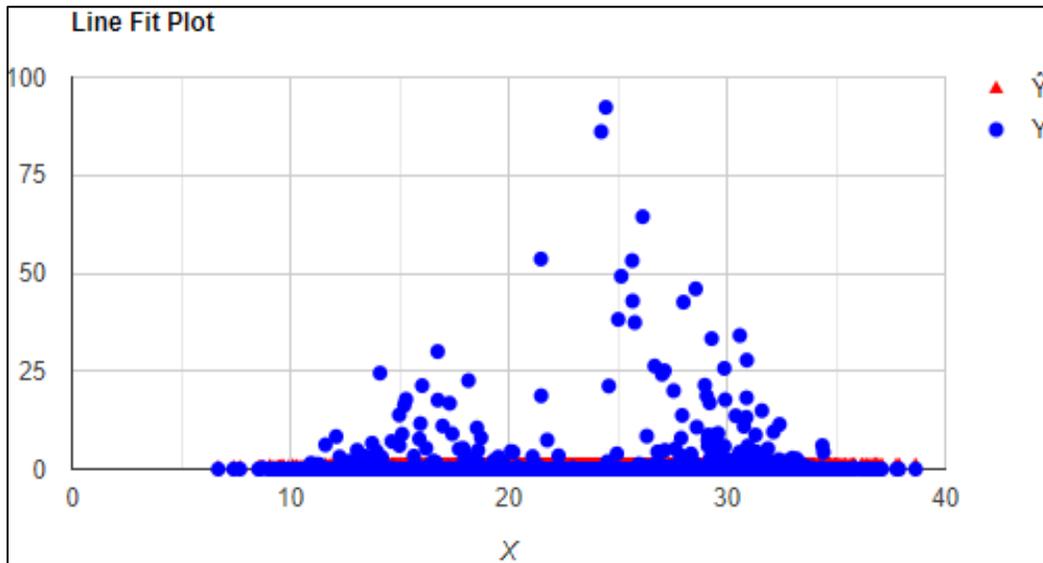


Figura 34. Regresión lineal de temperatura media y precipitación (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.0007314. Significa que el 0,07% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0.02705. Significa que hay una relación directa muy débil entre X y Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 2.1374$, valor $p = 0.1439$. Dado que $p\text{-valor} \geq \alpha$ (0.05), aceptamos H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, no proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 1.462$, valor $p = 0.1439$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 0.6263$, valor $p = 0.5312$. Por lo tanto, b no es significativamente diferente de cero, no forzar que b sea cero

Regresión lineal de temperatura media y humedad relativa (2014-2021)

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 51.7105 - 0.04594X$$

$$R^2 = 0.00034, F(1,2920) = 0.99, p = 0.320.$$

$$\beta = -0.046, p = 0.320$$

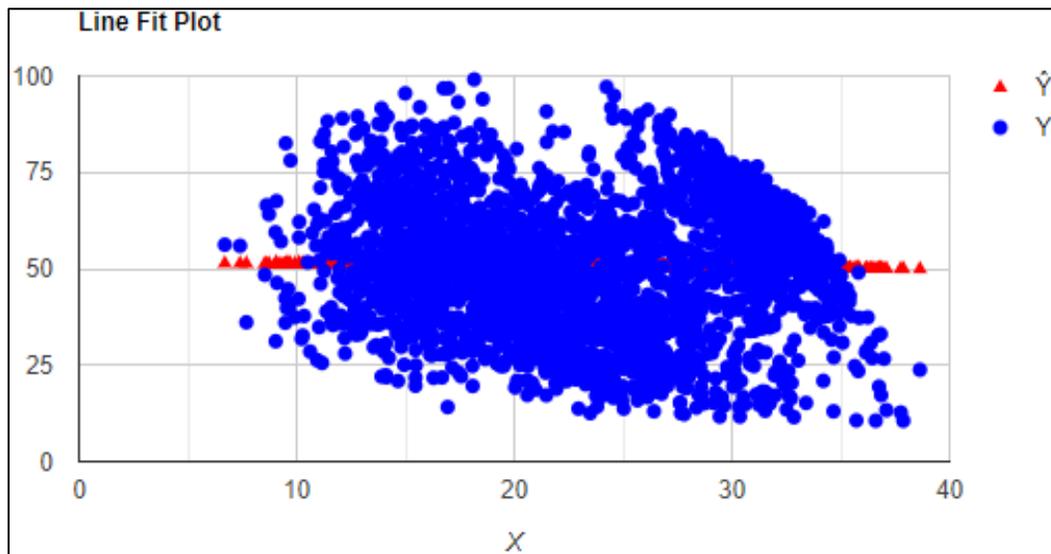


Figura 35. Regresión lineal de temperatura media y humedad relativa (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.0003393. Significa que el 0,03% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a -0.01842. Significa que existe una relación inversa muy débil entre X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 0.991$, valor $p = 0.3196$. Dado que $p\text{-valor} \geq \alpha (0.05)$, aceptamos H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \epsilon$, no proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \epsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = -0.9955$, valor $p = 0.3196$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 45.8889$, valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero

Regresión lineal de precipitación y velocidad del viento (2014-2021)

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 5.6224 + 0.02768X$$

$$R^2 = 0.0013, F(1,2920) = 3.79, p = 0.052.$$

$$\beta = 0.028, p = 0.052$$

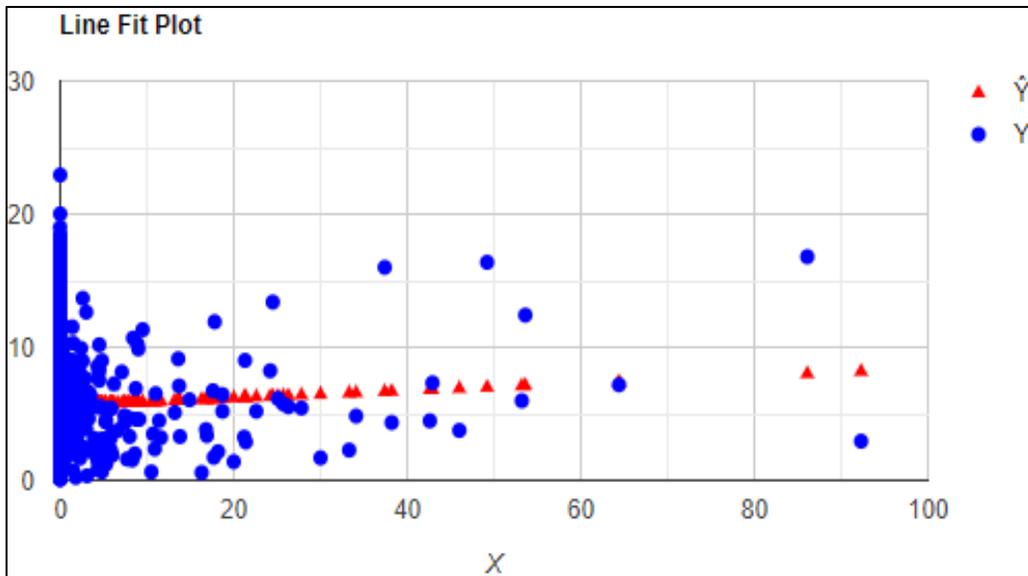


Figura 36. Regresión lineal de precipitación y velocidad del viento (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.001295. Significa que el 0.1% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0.03599. Significa que hay una relación directa muy débil entre X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1,2920) = 3.7869$, valor $p = 0.05175$. Dado que $p\text{-valor} \geq \alpha$ (0.05), aceptamos H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \epsilon$, no proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \epsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 1.946$, valor $p = 0.05175$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general.

El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 92.914$, valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero

Regresión lineal de precipitación y humedad relativa (2014-2021).

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 50.0393 + 1.0136X$$

X predijo Y, $R^2 = 0.067$, $F(1,2920) = 208.63$, $p < 0.001$.

$\beta = 1.01$, $p < 0.001$.

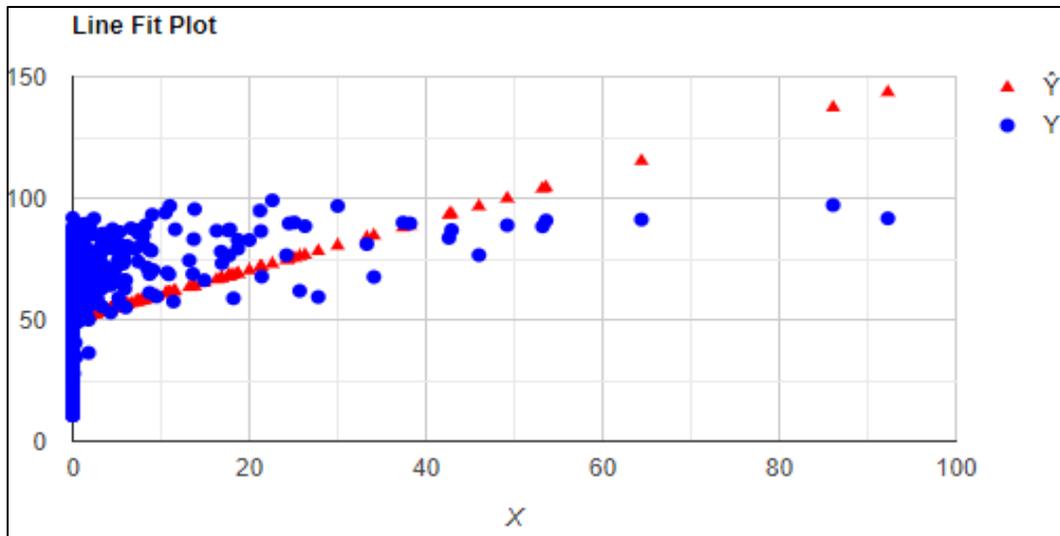


Figura 37. Regresión lineal de precipitación y humedad relativa (2014-2021)
 Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.06668. Significa que el 6.7% de la variabilidad de Y está explicada por X. La correlación (R) es igual a 0.2582. Significa que existe una relación directa débil entre X e Y.

Regresión general: de cola derecha, $F(1,2920) = 208,629$, valor $p = 0$. Dado que el valor $p < \alpha$ (0.05), rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \epsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \epsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = 14.444$, valor $p = 0$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general. El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 167.6066$, y el valor $p = 0$. Por lo tanto, b es diferente de cero.

Regresión lineal de velocidad del viento y humedad relativa (2014-2021)

Ecuación de línea de regresión

$$\hat{Y} = 52.3094 - 0.2977X$$

X predijo Y, $R^2 = 0.0034$, $F(1,2920) = 9.97$, $p = 0.002$.

$\beta = -0.3$, $p = 0.002$.

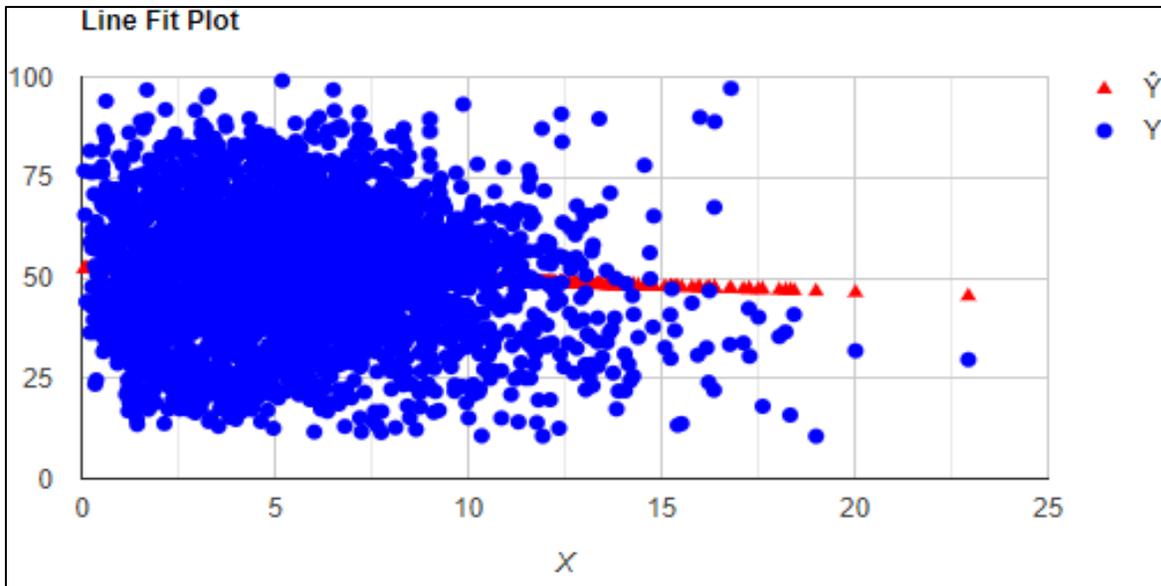


Figura 38. Regresión lineal de velocidad del viento y humedad relativa (2014-2021)
Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica Chipilon (2014-2021)

Relación Y y X

R Cuadrado (R^2) es igual a 0.003402. Significa que el 0.3% de la variabilidad de Y se explica por X. la correlación (R) es igual a -0.05833. Significa que existe una relación inversa muy débil entre X e Y.

Regresión general: cola derecha, $F(1.2920) = 9,9681$, valor $p = 0.001609$.

Dado que el valor $p < \alpha (0.05)$, rechazamos la H_0 .

El modelo de regresión lineal, $Y = b_0 + b_1 X + \varepsilon$, proporciona un mejor ajuste que el modelo sin la variable independiente resultante, $Y = b_0 + \varepsilon$.

La Pendiente (a): dos colas, $T(2920) = -3.1572$, valor $p = 0.001609$. Para un predictor es lo mismo que el valor p para el modelo general. El intercepto en Y (b): dos colas, $T(2920) = 85.3038$, valor $p = 0$. Por lo tanto, b es significativamente diferente de cero.

6.6 Estrategias para el Aprovechamiento de los Residuos de los Paneles Solares Fotovoltaicos de Acuerdo a la Economía circular

Con esta información, aunada a lo que ya se encuentra escrita en esta tesis, relacionada con la

Economía Circular y el reciclado y reúso de las celdas fotovoltaicas se cumple con el objetivo 5, que indica: Vislumbrar la etapa de su desmantelamiento del parque solar fotovoltaico, de acuerdo a los materiales tóxicos que contienen, mediante la Economía Circular.

La eficiencia en el uso de los materiales que conforman los paneles fotovoltaicos, inicia desde utilizar los recursos con los que se cuenta, de manera sostenible, minimizando el impacto al medio ambiente, para poder darle más valor a los paneles con el mínimo de utilización de nuevos insumos.

IRENA - IEA-PVPS (2016), han considerado que: “la contaminación es una consecuencia de la ineficiencia de los procesos y de las tecnologías, que a su vez dependen de sus estructuras y su capacidad económica”. Se tiene previsto que para el año 2030, los residuos de los paneles solares fotovoltaicos serán de aproximadamente 1.7 millones de toneladas y para el año 2050, serán de 60 millones de toneladas (IRENA, 2016).

La Economía Circular, pretende prolongar el ciclo de vida de un producto y crear un ciclo continuo, donde los recursos se reutilicen y reciclen, hasta que siga siendo redituable y no contamine al medio ambiente; su propósito es inculcar el desempeño de las labores sin la producción de residuos que contaminen, reduciendo los gases de efecto invernadero y tratando de mantener en armonía los materiales sostenibles, lo cual contribuye a la eficiencia y el equilibrio entre la economía, el medio ambiente y la sociedad (Núñez-Cacho Utrilla, 2020); (Salvioni y Almici, 2020).

De acuerdo a investigaciones de IRENA (2016), las materias primas que conforman los paneles solares fotovoltaicos, pueden ser tratadas y recicladas a un de un 65% a 70%.

Es posible reducir, reutilizar y reciclar los componentes de los paneles fotovoltaicos, a través de las tres R y de la Economía Circular, por ello, es importante, centrarse en la reparación de paneles fotovoltaicos, reforzando el lema: sí a la reutilización no al desecho.

Se recomienda donarlos a instituciones sin fines de lucro o venderse como paneles usados a un menor precio, los cuales deben de ser pasados por un estricto control de calidad, indicando la cantidad de años que pueden volver a ser utilizados.

Los paneles que no puedan ser reparados o reutilizados, se enviarán a un lugar especificado por el gobierno municipal, siguiendo las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas y reglamentos, conforme a la normatividad vigente.

En el proceso de reciclaje, la empresa recicladoras, tendrá los apartados específicos sobre: cableado, componentes electrónicos, metales fácilmente separables no contaminantes o tóxicos

como el aluminio, acero, etc. Se debe tener actualizada la normatividad tanto a nivel federal como a nivel estatal; el ayuntamiento de los municipios debe de indicar un lugar especial para la colocación de los residuos toxicas o peligrosos. En el reciclaje, se deben de recuperar componentes de los paneles solares como el vidrio, silicio, cobre, aluminio, plata, para ser vendidos en el mercado local o internacional; los metales peligrosos deben de tener un manejo especial, los cuales son: selenio, plomo, cadmio, entre otros. Es necesario que se tenga un buen etiquetado y almacenado. El aluminio y el cobre de los cables pueden separarse y reciclarse fácilmente ya que son de rápida comercialización (IRENA y IEA-PVPS, 2016).

Dentro de los componentes de mayor cantidad y de fácil reciclado, se encuentran:

- 1.- Vidrio con el 80%, siendo necesario el desarrollo de tecnologías de reciclaje eficientes e innovadoras para el tratamiento del vidrio de los paneles fotovoltaicos.
- 2.- Aluminio y Cobre, ambos pueden reciclarse fácilmente ya que hay mercados bien establecidos.
- 3.-Silicio (es el segundo elementos más abundante de la tierra, el primero es el oxígeno), su uso en celdas fotovoltaicas se ha reducido significativamente durante los últimos diez años, de 16 gramos/Wp a menos de 4 gramos/Wp lo cual fue producto del aumento de la eficiencia, al utilizarse capas más finas de silicio cristalino.
- 4.- Plata, puede ser recuperada y vendida, siempre aumenta su valor.
- 5.- Zinc, Níquel, Galio, Indio, Selenio y Telurio, se siguen haciendo investigaciones para tratar de eliminarlos de las celdas solares al sustituirlos por otros compuestos naturales o sintéticos como polímeros.
- 6.- Los materiales de los semiconductores, se sigue investigando, para utilizar materiales menos contaminantes y fácilmente reciclables (IRENA, 2016).

Es necesaria la creación de nuevas industrias y mercados que den empleos en el sector de energías renovables, y como en este caso, en el sector fotovoltaico.

De acuerdo a IRENA (2016), es en el sector de la gestión de residuos, donde se encuentran diferentes sectores interesados: los productores, exportadores, importadores, distribuidores, operadores de sistemas, gobiernos nacionales y extranjeros, empresas de tratamiento de residuos y los usuarios finales. Siendo necesaria, la cultura, información y cooperación entre las partes interesadas tanto públicas como privadas, para poder garantizar la aceptación de las partes recicladas o reutilizadas de los paneles fotovoltaicos. La industria del reciclaje, es una industria nueva de servicios, reparación y reutilización de paneles fotovoltaicos, aportando y diversificando

más fuentes de empleo.

Toda la gestión de residuos fotovoltaicos se encuentran reguladas por el poder legislativo de los países, conlleva diferentes responsabilidades para las partes interesadas, tanto públicas como privadas a nivel nacional e internacional.

Hoy en día, no existe en el estado de Sonora, un lugar destinado para el destino final de los paneles fotovoltaicos ni existe un establecimiento formal para su reciclaje, por lo cual, no se puede evaluar su gestión de residuos.

7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1. Conclusiones

Conforme los países consoliden la utilización de las energías renovables y mejoren su eficiencia energética, se irá reduciendo paulatinamente el uso de los combustibles fósiles, como quedó indicado en el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París; México lo plasmó en la ley de Transición Energética.

De acuerdo a los resultados obtenidos

En esta tesis, se consideraron las condiciones de variables climatológicas reales, porque la eficiencia que dan de sus productos los fabricantes de los paneles solares fotovoltaicos, se indican de acuerdo a las condiciones controladas en sus laboratorios de pruebas, las cuales, pueden distar mucho de la realidad de su funcionamiento, por la incidencia de las variables ambientales presentes en el lugar donde se instalaron, por la influencia de lluvias, nubosidad, nieve, granizo, radiación solar, etc.

Las variables climatológicas: temperatura media, humedad relativa, radiación solar, precipitación y velocidad del viento, aun siendo continuas y cíclicas no presentan una distribución normal, lo cual se evidenció en las gráficas de barras de cada una de las variables de cada año del 2014 al 2021, corroborándose con las series de tiempo y con la prueba Shapiro-Wilks, las variables climatológicas que se han presentado de forma potencial como una curva normal o gaussiana son: la temperatura promedio y la humedad relativa. Que los datos tengan una distribución normal significa que al ser simétrica, tanto la media, mediana y moda, tienen ciertas características que permiten crear modelos de predicción del comportamiento de variables ambientales. Las bases de datos de las estaciones meteorológicas, al ser tomados diariamente, son una serie temporal. Una serie temporal es un conjunto de observaciones medidas de forma secuencial a lo largo del tiempo, lo cual permite que se puedan observar sus tendencias de forma decreciente o creciente y hacer pronósticos de su comportamiento.

A través de Meteoblue, se corroboró que en la región donde se encuentra instalado el parque solar fotovoltaico La Orejana, se evidencia el fenómeno del cambio climático global, por medio del

aumento de temperatura de 1979 a 2021 y el la disminución de precipitaciones en el mismo período.

La Orejana, es una zona rural, prácticamente no alterada por el ser humano, presenta el fenómeno del calentamiento global, lo cual se constata por la disminución de precipitación y el aumento de temperatura.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, ha indicado que del aumento de temperatura en la superficie del planeta, desde la segunda mitad del siglo XIX hasta la década de 2010-2019, ha aumentado entre 0.8 °C a 1.3 °C. (IPCC, 2021). Lo cual quedó evidenciado, en esta tesis.

En relación a la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las variables meteorológicas que inciden en la eficiencia de los paneles solares del parque solar fotovoltaico La Orejana en Hermosillo, Sonora? La respuesta es: temperatura, radiación solar y la humedad relativa.

Las precipitaciones, baja la eficiencia del funcionamiento de los paneles solares, pero en la región de La Orejana en Hermosillo, Sonora, no se cuentan con muchos días de precipitaciones durante el año y su precipitación, es baja en relación a los mililitros medidos.

La velocidad del viento y su dirección, no tienen una relación contundente en el funcionamiento de los paneles solares. Hay que hacer hincapié en que las sombras (cerros, lomeríos, árboles frondosos, entre otros) también influyen en su eficiencia, así como la suciedad y el polvo acumulado de los paneles por lo que se les debe de dar mantenimiento (limpieza y cambio de piezas dañadas).

La distribución normal permite calcular probabilidades de aparición de datos en una distribución, lo que tiene como consecuencia la posibilidad de inferir datos de la población a partir de los datos obtenidos de una muestra y poderlos extrapolar y hacer predicciones.

La prueba Shapiro-Wilks, sirvió para corroborar cuales son las variables que presentan una potencial distribución normal, de forma natural. Cuando se trabaja con este tipo de información debe de usarse un test no paramétrico ex post facto (después de ocurridos los hechos), porque no se tiene control sobre las variables, ni se influye sobre ellas, porque ya ocurrieron, al igual que sus efectos a través de análisis retrospectivos, se puede conocer si hay relación entre las variables.

Uno de los motivos de pérdidas en la producción de energía en los paneles fotovoltaicos, se debe al efecto de las altas temperaturas en su operación; al aumentar la temperatura ambiental y la temperatura de la celda aunado a la temperatura que expone en su desempeño, disminuye la potencia

generada, así mismo, depende de los materiales con los que se encuentran hechas las celdas. (Mohanty y Tyagi, 2015).

De acuerdo a los trabajos de investigación realizados por, Popovici (2016) y Hernández Domínguez (2020) quienes han indicado que no se debe de tener la idea errónea de que entre más elevada este la temperatura, va a tener una mejor eficiencia la celda solar fotovoltaica; se presenta la máxima eficiencia cuando el medio ambiente se encuentra templado es decir en una temperatura de alrededor de 21°C. Lo importante es la mayor cantidad de horas luz.

A través del análisis de la radiación solar se pudo constatar que Hermosillo, tiene un promedio de 252.58W/m² (vatios por metro cuadrado) siendo un lugar privilegiado para el uso de paneles solares porque tiene una media de 12.4 horas de luz natural al año.

No es la cantidad de radiación solar, sino el tiempo que dura durante el día, lo importante en el funcionamiento de la celda solar. Hay que tomar en cuenta que un porcentaje aproximado del 80% de la radiación solar en las células fotovoltaicas, no se convierte en electricidad, se refleja, transmite o absorbe; gran parte de la energía solar se absorbe y se convierte en calor, aumentando la temperatura de las células fotovoltaicas, disminuyéndose la eficiencia del sistema fotovoltaico y el acortamiento de la vida útil, motivo por el cual, en la actualidad se están llevando a cabo investigaciones con nuevos materiales que innoven la construcción de las celdas fotovoltaicas. (Ghadikolaei, 2021).

Es importante, no solo reducir el consumo de combustibles fósiles, (transporte, industria, hogar, etc.) es necesario utilizar la energía de manera eficiente, invirtiendo en tecnología, promoviendo en la sociedad la aceptación de energías limpias y renovables, anteponiendo la mitigación a la adaptación, con un modelo eléctrico descentralizado, que permita la penetración de energías renovables con un almacenamiento eficiente y que los consumidores tengan un papel activo bajo una buena gobernanza. Las nuevas tecnologías de fabricación de celdas fotovoltaicas aunadas a tecnología de almacenamiento idóneas, con avances tecnológicos para generar, distribuir y consumir la energía de manera más eficiente e inteligente sustentados en políticas y legislaciones actualizadas, serán esenciales para poder crear infraestructuras de red de energías fotovoltaicas para sustentar un futuro sostenible.

7.2. Recomendaciones

De acuerdo a las conclusiones presentadas en esta tesis, se recomienda lo siguiente:

La prueba Shapiro-Wilks demostró que las variables climatológicas que potencialmente siguen el trayecto de una curva normal o gaussiana son: la temperatura promedio y la humedad relativa. Se recomienda utilizar estas variables para la realización de modelos matemáticos de predicción de temperatura y humedad relativa; Gandica de Roa, (2020) recomienda que se sigan realizando estudios relacionados con las pruebas de normalidad, porque generan grandes aportes a este tipo de investigaciones, para poder determinar los métodos estadísticos que deberán de ser aplicados y darle solidez científica de las investigaciones realizadas.

En relación al funcionamiento de las celdas solares fotovoltaicas, es necesario tomar en cuenta que la variación de la humedad relativa, afecta el rendimiento de los paneles fotovoltaicos monocristalino, el voltaje disminuye en 12.2 % en el rango de humedad relativa del 10% a 50 %. En los paneles policristalino, la potencia generada y la eficiencia cambian en 46.3 % en el mismo rango, lo cual indica que el tipo de panel policristalino es más sensible a la humedad relativa que el tipo monocristalino (Sohani, *et al.*, 2020). En el parque solar fotovoltaico La Orejana, se tienen paneles fotovoltaicos monocristalinos.

En relación al funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos, el aumento o disminución de la temperatura en los paneles, tiene efecto en su eficiencia (Bayrak, *et al.*, 2019).

Hay que tomar en consideración que la mayor parte de la radiación solar que recae sobre una celda solar fotovoltaica, no es convertida a electricidad, sino que se convierte en calor, aumentando la temperatura propia de la celda (Benlebna, S, *et al.*, 2018).

Se están investigando nuevos materiales no contaminantes, sustentables y con más eficiencia en la producción de electricidad, pero es necesario mejorar sus diseños y componentes en términos tanto operativos como financieros (su abaratamiento, para que puedan estar al acceso de todos). (Torres-Herrera *et al.*, 2020).

De acuerdo con Téllez *et al.*, (2022) los paneles de celdas orgánicas, presentan disminución de costos y menor impacto al medio ambiente, sobre todo si son biodegradables.

Jiménez (2020) ha investigado con oro, para mejorar la eficiencia de las celdas solares pero por protección patrimonial no se colocan grandes cantidades en su fabricación.

En México se tiene la NOM-001-SEDE-2012, (indicada en la parte legislativa de esta tesis); esta norma establece los estándares necesarios para una instalación fotovoltaica correcta. Se ha hecho más común, el término “commissioning”. El proceso de commissioning es indispensable en los procesos de diseño, instalación, prueba, verificación y operación de los paneles fotovoltaicos, así mismo, la NOM-001-SEDE-2012, establece que se deben de verificar todos los componentes del sistema eléctrico y realizar una prueba inicial del sistema antes de conectarlo a la red. (Solarama, 2019).

Es recomendable recalcar, las consideraciones comentadas por Matteo (2022), sobre la transición energética: “ Se debe de favorecer una transición energética hacia energías limpias y renovables, de manera progresiva, sólida y flexible, se requiere en primera instancia de la reducción del consumo energético actual, aunado al desarrollo de políticas que apunten hacia la sustentabilidad energética”.

Deloitte (2018), sugiere, que “a todos los agentes que participen en la descarbonización, se les otorguen incentivos para que empresas y hogares cambien sus hábitos de consumo e incorporen la energía renovable en el mix de generación y utilización”.

Es de suma importancia, realizar los cambios culturales para la aceptación de materiales reciclados o reutilizados.

En relación a la fase de desmantelamiento, es recomendable la creación de recicladoras de partes fotovoltaicas, lo cual es una oportunidad para el surgimiento de nuevas empresas y fuentes de trabajo en el estado de Sonora, donde se encuentren ubicados parques solares fotovoltaicos.

Las plantas recicladoras de paneles fotovoltaicos, generarán más fuentes de empleo y aumentarán la recuperación de componentes para su reuso, venta o donación (IRENA, IEA-PVPS, 2016).

Es recomendable la creación de normas y políticas públicas que regulen y controlen el manejo de los residuos de los paneles fotovoltaicos, ya que en la actualidad, las legislaciones (leyes, reglamentos, NOM, etc.) vigentes en México, que se encuentran relacionadas con la temática, no profundizan y no están acordes con el futuro del manejo de la gran cantidad de desechos contaminantes que se van a producir.

Es contradictorio que en la fabricación de paneles fotovoltaicos se utilicen combustibles fósiles, los cuales generan gases contaminantes. Debe de realizarse la planeación, desde la fabricación de los paneles fotovoltaicos utilizando energías renovables.

De acuerdo a información proporcionada por el Ayuntamiento de Hermosillo, se tiene un relleno

sanitario, cerca del poblado Miguel Alemán, tipo trinchera, manejado por la empresa TECMED. Este relleno sanitario se ubica en el kilómetro 0.7 de la calle 36 sur, aproximadamente a 21 Km. del poblado Miguel Alemán, rumbo a Bahía de Kino (Este) y se encuentra a 22 kilómetros del predio de La Orejana (rumbo Noroeste). Por los compuestos tóxicos de las celdas fotovoltaicas no es recomendable su disposición en ese relleno sanitario.

Se recomienda que en los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) elaborar una hoja de ruta para innovar los mercados, en el diseño de modelos de negocios basados en Economía Circular.

El acceso a energía segura, asequible y moderna es fundamental para la reducción de la pobreza, porque es un facilitador crítico del desarrollo (IEA, 2017).

De acuerdo al GSI Report (2019) Para lograr las metas de bienestar de la población en un proceso de transición energética es recomendable:

1. Realizar el análisis de costo-beneficio de la estrategia de continuación con la extracción y consumo de combustibles fósiles, evaluando alternativas, como el uso de energías limpias y renovables, considerando tanto la óptima utilización de los recursos fiscales como las metas de desarrollo social, sostenible y climáticas.
2. Mejorar la transparencia de los ingresos fiscales del sector de los hidrocarburos y el carbón.
3. Evitar establecer subsidios generalizados, porque han demostrado ser una política regresiva que termina por beneficiar a los grupos que menos lo necesitan y con un alto costo de oportunidad.
4. Destinar más recursos a la transición energética hacia las energías renovables y a la eficiencia energética como parte de los objetivos de bienestar y desarrollo sostenible. (Kühne et al, 2019).

La transición hacia un modelo energético sustentable, debe de estar basada en la ética, el liderazgo, la transparencia, el acceso a la información pública, todo ello, bajo una acertada planeación gubernamental, siendo una puerta abierta hacia la innovación y nuevas fuentes de empleo que harán más competitivas y autosuficiente al estado de Sonora, y por ende al municipio de Hermosillo.

7.3. Trabajos de Investigación Futuros

Como continuación de investigaciones relacionadas con el tema de la presente tesis, se indica que existen varias líneas de investigación que son de suma importancia porque en el estado de Sonora, cuenta con yacimientos de los elementos químicos con los que se está innovando.

Entre los posibles trabajos futuros se tienen los siguientes:

- 1.-Los estudios correspondientes, sobre los ciclos solares (11 años), porque se tienen investigaciones que lo relacionan directamente con el cambio de climático global. (Gil y Pérez, 2019).
- 2.-Cota *et al.*, (2017) están trabajando con Perovskitas y Kesteritas para abaratar los costos de las celdas solares y poder eliminar elementos como el Indio y Telurio que son minerales muy contaminantes, costosos, tóxicos y escasos.
- 3.-Yilbas, *et al.*, (2018) han investigado sobre la transferencia de grafeno y óxido de grafeno sobre partículas de sílice funcional, los cuales mejoran la transmitancia óptica. El grafeno proviene del grafito y en Sonora, se encuentran varios yacimientos de grafito. El municipio de La Colorada, aporta el 100% de la producción de grafito del estado de Sonora.
- 4.-Baltazar, *et al.*, (2018) han investigado la respuesta energética del colorante azoico rojo disperso, mezclado con grafeno reducido y óxido de grafeno en celdas solares sensibilizadas, para mejorar su eficiencia. En el municipio de San Javier, en el estado de Sonora, se encuentra la empresa Grafesomex, especializada en la producción del grafeno.
- 5.-Partida, *et al.*, (2020) están haciendo investigaciones relacionadas con el óxido de Tungsteno (WO_3), como material semiconductor prospecto en la fabricación de celdas solares. Se enfatiza que el municipio de Álamos, Sonora, es el principal productor de tungsteno, a nivel nacional, participando con el 100% de la producción total del país. (Secretaría de Economía, 2021).
- 6.-Las baterías de ión sodio se basan en el mismo principio que las de litio. El compuesto del ánodo en las baterías de litio es el grafito por sus excelentes propiedades eléctricas, por lo cual se está investigando con el grafito para las baterías de sodio, las cuales tendría mejor eficiencia que las del litio. (Eftekhari y Kim, 2018). El alto costo y la escasez del litio en relación al sodio, son razones suficientes para reemplazar las baterías de litio por las de sodio, sobre todo en los países cercanos al mar donde se tienen proyectadas desaladoras de agua de mar.

7. Baterías de Magnesio. En Sonora, se encuentran yacimientos de Magnesio en Suaqui Grande, (en Las Planchas), y en el Saucito, localizado a 185 km al NE de Hermosillo. Las baterías de ión magnesio pueden reemplazar a las baterías de litio, debido a su bajo costo, seguridad y alta capacidad volumétrica. (Truong, *et al.*, 2017).
8. Baterías de níquel. En Sonora, se encuentran yacimientos de níquel, la mina La Caridad del Grupo México, donde se extrae cobre y níquel. Las baterías para almacenamiento de energía de níquel en su ánodo contienen níquel y el electrolito hidróxido potásico y algún otro metal como, Cadmio, Hierro, Zinc, entre otros, sin embargo hay que tomar en consideración que el Cadmio es caro y dañino para la salud y el medio ambiente, se siguen haciendo investigaciones sobre este tipo de baterías. (Ferasso, *et al.*, 2022).
9. Es indispensable que se siga investigando sobre los minerales y polímeros relacionados a la energía renovable, la energía producida por plantas solares fotovoltaicas, en el 2010, su precio rondaba los 297 €uros por MWh, en el 2020 costaron 33 €uros. En diez años, el precio disminuyó en un 89% (IRENA, 2020), la reducción del costos es clave para un futuro sostenible, con bajas emisiones de carbono a la atmosfera, y con la baja de precios de la energía, se abaratarían los precios de los bienes y servicios que consumen.

8. REFERENCIAS

- Acuerdo de París,(2015) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), París, Recuperado de: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish.pdf
- Adeeb, J., Farhan, A., Al-Salaymeh, A. (2019). Temperature effect on performance of different solar cell technologies. *Journal of Ecological Engineering*, 20(5), 249–254. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/325757331_Temperature_Effect_on_Performance_of_Different_Solar_Cell_Technologies
- Aguilera Cazalbón, A. Y. (2021). Geopolítica y Economía Política de la Energía Eléctrica en las Relaciones entre China, Argentina y Brasil: Perspectivas para Inversiones, Financiamiento, Comercio e Integración Productiva en la Industria de Energía Renovable. Recuperado de: <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/6516/Geopol%20c3%20adica%20y%20Econom%20c3%20ada%20Pol%20c3%20adica%20de%20la%20Energ%20c3%20a%20EI%20c3%20a%20ctrica%20en%20las%20Relaciones%20entre%20China%20y%20Argentina%20y%20Brasil%20para%20Perspectivas%20para%20Inversiones%20Financiamiento%20Comercio%20e%20Integraci%20n%20Productiva%20en%20la%20Industria%20de%20Energ%20c3%20a%20Renovable?sequence=1&isAllowed=y>
- Ahmed, R., Sreeram, V., Mishra, Y. Y Arif, M.D., (2020). A Review And Evaluation Of The State-Of-The-Art In Pv Solar Power Forecasting: Techniques And Optimization. *Renewable And Sustainable Energy Reviews* (En Línea). Vol. 124, P. 109792. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120300885>
- Amirov-Belova, D. (2022). Transición Energética Alemana ¿“Camino verde”? : Análisis en términos sustitutivos de energía, de coste privado, y de emisiones carbónicas. *ANDULI, Revista Andaluza De Ciencias Sociales*, (21), 1–28. Recuperado de; <https://doi.org/10.12795/anduli.2022.i21.01>
- Angel, James. (2016). Hacia la Democracia Energética. Debates y conclusiones de un taller internacional. Trans National Institute. Recuperado de: https://www.tni.org/files/publicationdownloads/hacia_la_democracia_energetica.pdf
- Aparicio, M. P. (2020). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Editorial Marcombo. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=el+sol+y+la+energia+solar&ots=r8Za2EQefp&sig=MGLQtji4dbQi33oaEbKv5DMvfmw#v=onepage&q=el%20sol%20y%20la%20energia%20solar&f=false>
- Akizu-Gardoki, O., Bueno, G., Wiedmann, T., López-Guede, JM, Arto, I., Hernández, P., & Moran, D. (2018). Desacoplamiento entre el desarrollo humano y el consumo de energía dentro de las cuentas de huella. *Revista de Producción más Limpia*. Recuperado de; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618325848>
- Arce Silva J. (2021) Desarrollo de la energía solar fotovoltaica a gran escala en Chile y los desafíos asociados a la gestión de sus residuos. Recuperado de:

<http://repositorio.udec.cl/handle/11594/9680?locale=enyt>

- Ardusso, Ledit R. F, Neffen, Hugo E, Fernández-Caldas, Enrique, Saranz, Ricardo J, Parisi, Claudio A. S, Tolcachier, Alberto, Cicerán, Alberto, Smith, Silvina, Máspero, Jorge Fernando, Nardacchione, Nancy, & Marino, Damián. (2019). Intervención ambiental en las enfermedades respiratorias. *Medicina (Buenos Aires)*, 79(2), (123-136). Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802019000300007&Ing=es&tIng=es
- Arévalo Moscoso, R. O. (2018). La Industria y sus efectos en el cambio climático Global. *RECIAMUC*, 2(2), (595-611). Recuperado de: <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/156/157>
- Aroche, E. (2018). Con EPN, el registro de tomas clandestinas en ductos de Pemex supera por ocho veces al de Calderón”, *Publicación Animal Político*. <https://goo.gl/TPD1GC>
- Arroyo M. F. R. (2018). La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. *INNOVA Research Journal*, 3, (78-98).recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/a0db/474cd45d8c7938e4ab26e6bf299830103fbf.pdf>
- Baltazar Vera, J. C., Fuentes-Ramírez, R., Hernández, V. A., Galindo Esquivel, I. R., Ruiz Camacho, B., & Manríquez, (2018). Respuesta energética del colorante azoico rojo disperso 1 mezclado con grafeno reducido y óxido de grafeno en celdas solares sensibilizadas. *Acta universitaria*, 28(3), 9-16. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662018000300009
- Banco Mundial (2022) Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/pais/mexico>
- Bárcena, A. Samaniego, J. Galindo, L.M. Carbonell, J.F. Alatorre, J.E. Stockins, P. Reyes, O.; Sánchez, L. Mostacedo, J. (2018). La economía del cambio climático en América latina y el Caribe: una visión gráfica. LC/TS.2017/84/rev.1, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas, Santiago, Chile. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42228/S1701215A_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Bárcena Ibarra, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe:¿ seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? CEPAL. Repositorio CEPAL. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45677/S1900711_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bardi, U. (2019), “Peak oil, 20 years later: Failed prediction or useful insight”, en: *Energy Research & Social Science*, Vol. 48, (257-261). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618303207>
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 188, 484-494. https://www.researchgate.net/publication/333881552_Effects_of_different_fin_parameters_on_temperature_and_efficiency_for_cooling_of_photovoltaic_panels_under_natural_convction
- Benlebna, S., Kumar, NM y Tahri, A. (2018). Monitorización en tiempo real de los parámetros

característicos del módulo fotovoltaico HIT en STC, condiciones de alta y baja irradiancia en Argelia. *Procedia informática*, 132, 1238-1242. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918307713>

BID, (2017). *Ciudades Emergentes y Sostenibles en México*, Hermosillo. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: https://issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/pub_2016_hermosillo_mex_018

BID (2019) *City Design, Planning and policy innovations: The case of Hermosillo*. Recuperado de https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/City_Design_Planning_Policy_Innovations_The_Case_of_Hermosillo_en_en.pdf

Breure, A., Lijzen, J., Maring, L. (2018), Soil and land management in a circular economy, *Science of the Total Environment*, No. 624, Elsevier. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/324312618_Soil_and_land_management_in_a_circular_economy

Bush, K, Palmstrom, A, Yu, Z, Boccard, M., Cheacharoen, R., Mailoa, JP y McGehee, M (2017). Células solares monolíticas en tándem de perovskita/silicio con una eficiencia del 23,6 % y estabilidad mejorada. *Naturaleza Energía*, 2 (4), 1-7. Recuperado de: <https://www.nature.com/articles/nenergy20179>

Carrasquilla-Batista, A; Chacón-Rodríguez, A; Núñez Montero, K; Gómez-Espinoza, O; Valverde, J; Guerrero Barrantes M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. *Tecnología en Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión*. Pág. 33-45. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29s5/0379-3982-tem-29-s5-33.pdf>

Carrera, L. A. I., Perdomo, N. A. C., & Valuca, E. B. (2021). La energía fotovoltaica y sus particularidades en Cuba. *Revista Mapa*, 5(23). Recuperado de: <https://revistamapa.org/index.php/es/article/view/282/397>

Castaño-Gómez, M., & García-Rendón, J. J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas de Economía*, (93), 23-64. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-25962020000200023

Catalán A. H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del desarrollo*, 52(204), (59-83). Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362021000100059#:~:text=El%20consumo%20de%20energ%C3%ADas%20renovables,una%20menor%20intensidad%20de%20carbono

CEC (2019) *Supply Chain Energy Efficiency through ISO 50001: A How-to Guide for Your Company*. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation. Recuperado de: <http://www.cec.org/files/documents/publications/11823-supply-chain-energy-efficiency-through-iso-50001-how-guide-your-company-en.pdf>

CENACE (2021) Programa de ampliación y modernización de la red nacional de transmisión y redes generales de distribución del mercado eléctrico mayorista .PAMRNT 2021-2035. Recuperado de:

https://www.cenace.gob.mx/Docs/10_PLANEACION/ProgramasAyM/Programa%20de%20Ampliacion%20y%20Modernizacion%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202021-20235.pdf

CENACE (2022) Centro Nacional de Control de Energía. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenace>

Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (2019). Reservas de Hidrocarburos. Recuperado de: <https://reservas.hidrocarburos.gob.mx/>

Centro Nacional de Prevención de Desastres (2022) CENAPRED. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenapred/>

CEPAL (2022). La energía en América Latina y el Caribe: acceso, renovabilidad y eficiencia. Temas estadísticos. Número 5, Mayo del 2022. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47924/S2200273_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chen, C. W., Chen K.H., and Chen Y.M., Modeling and Controller Design of an Autonomous PV Module for DMPPT PV Systems, (2013) IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 9, pp. 4723–4732. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6650035>

Chen, B., Lin, P., Lai, Y., Cheng, S., Chen, Z. y Wu, L (2020). Predicción de energía a muy corto plazo para plantas de energía fotovoltaica utilizando un modelo RCC-LSTM simple y efectivo basado en conjuntos de datos históricos multivariados a corto plazo. Electrónica, 9 (2), 289. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/electronics9020289>

COEES-Sonora (2017) Mapa de ruta de energía de Sonora (2017) Comisión de energía del estado de Sonora- Gobierno de Sonora. Recuperado de: <https://coeessonora.gob.mx/images/archivos/mapa-de-ruta-de-energia-sonora-final-8-agosto.pdf>

COEES (2021) Comisión de Energía del estado de Sonora. Recuperado de: <https://coeessonora.gob.mx/>, <https://coeessonora.gob.mx/images/1234.pdf>

Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. (CEDES, 2017) <https://cedes.gob.mx/oficial/category/general/>

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2014) | Beneficios por el uso de la Energía Solar, Recuperado de: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/beneficios-por-el-uso-de-la-energia-solar>

CONAGUA (2020). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua>

CONAGUA (2021) Estaciones meteorológicas automáticas. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

CONAPO (2020) Indicadores demográficos de Sonora, en el año 2050. Recuperado de: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index.html

CONEVAL (2020) Informe de pobreza y evaluación 2020. Sonora. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Sonora_2020.pdf

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2022) Cámara de Diputados, México. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Coronel H. M. (2016) Operación de equipo de concentración solar para celda fotovoltaica de alta eficiencia. Tesis, Universidad de Sonora. Recuperado de: http://148.225.114.121/handle/unison/861/browse?type=subject&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&value=Energ%C3%ADa+solar&starts_with=F
- Cota, M Leal, Figueroa, D. B., & Lerma, M. S (2017) Perovskitas y Kesteritas: El futuro para la fabricación de celdas solares de bajo costo. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/330546400_PEROVSKITAS_Y_KESTERISTAS_EL_FUTURO_PARA_LA_FABRICACION_DE_CELDAS_SOLARES_DE_BAJO_COSTO
- Crespo, E., Guaita, N., & Lazzarini, A. (2022). Transiciones energéticas: adaptaciones humanas a las restricciones ambientales. Márgenes. Revista de economía política Num.8, Recuperado de: <http://revistas.ungs.edu.ar/index.php/margenes/article/view/199>
- Curtis, TL, Buchanan, H., Smith, L. y Heath, G. (2021). Una economía circular para los materiales del sistema solar fotovoltaico: impulsores, barreras, habilitadores y consideraciones de política de EE. UU. (Nº NREL/TP-6A20-74550). Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), Golden, CO (Estados Unidos). Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/74550>
- D'Alisa, G. (2019), "Economía circular. Un Diccionario Del Posdesarrollo", en Kothari, A., Salleh, A., Escobar, A., Demaria, F. y Acosta, A. (eds), Pluriverso, un diccionario del postdesarrollo, Barcelona, Icara editorial. Disponible online: <https://cutt.ly/ERoa713>
- Da Conceicao, G., y Gómez, R. (2022). Evaluación y monitoreo de un proceso de transición energética. INNOVA UNTREF. Recuperado de: <https://www.revistas.untref.edu.ar/index.php/innova/article/view/1359/1122>
- Da Silva, Matos, B y Costa de Lima, (2022). Efecto Faraday: entre la actividad óptica natural y la teoría electrónica. Revista Brasileña de Enseñanza de la Física, 44. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/GKDDHYvBtZ9SYWnsKzhzpYcM/abstract/?lang=pt>
- De Kuyper, J. C. V. (2018). Principios y aplicaciones de la energía fotovoltaica y de las baterías. Ediciones UC. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EmqPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=energia+fotovoltaica&ots=2rjbnab_pt&sig=RkqLSBZqMhEgaoNCWqqlr2MMLNw#v=onepage&q=energia%20fotovoltaica&f=false
- Deloitte (2018). Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación. Recuperado de: <http://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/01/Deloitte-ES-MonitorDeloitte-Modelo-energetico-Espana-2050-enero-2018.pdf>
- Desing, H., Brunner, D., Takacs, F., Nahrath, S., Frankenberger, K. y Hischier, R. (2020). Una economía circular dentro de los límites planetarios: hacia un enfoque sistémico basado en recursos. Recursos, Conservación y Reciclaje, 155, 104673. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919305798>
- Diario Oficial de la Federación- Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (2019) Recuperado de:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0

- Divagar K, Deepchandar E, Kavin K, Kumaran T (2017) Data analysis using Box and Whisker plot for Functional Point. International Conference on Trends in Electronics and Informatics, School of Information Technology and Engineering, VIT University, Vellore, India. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317385336_Data_analysis_using_Box_and_Whisker_plot_for_Functional_Point
- Earls, John (2015) La gran crisis petrolera. Temas de análisis PUCP. Recuperado de: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/47159/earls.pdf?sequence=1>
- Eftekhari, A & Kimb, W (2018) A. Sodium-ion batteries: New opportunities beyond energy storage by lithium, *Jornal of Power Sources*, pp. 336-348. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775318305731>
- Espaliat Canu, M. (2017). Economía Circular y Sostenibilidad: Nuevos enfoques para la creación de valor (Spanish Edition). Create Space. Recuperado de: <https://www.itelspain.com/files/pagina/pdf/20170925100953.pdf>
- Estrada, J. H., Rodríguez, V., & Ventura, V. H. (2022). El gas natural en México: impacto de la política de autosuficiencia, seguridad y soberanía en la transición y la integración energética regional. CEPAL. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47981/S2200638_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Evaluación Rápida del Uso de la Energía, municipio de Hermosillo, Sonora. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171262/14_Hermosillo.pdf
- Farrell, C, Osman R, Doherty R, Saad M, Zhang X, Murphy A, Harrison J, Vennard A, Kumaravel V, Al-Muhtased, Rooney D.W (2020) Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 128, 109911. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/341701780_Technical_challenges_and_opportunities_in_realising_a_circular_economy_for_waste_photovoltaic_modules
- Ferasso, C. A., Da Silva, W. D., & Schaeffer, L. (2022). Revisão: Novas tecnologias em materiais e processos de produção para baterias níquel-ferro: *Brazilian Journal of Technology*, 5(4), 194-207. Recuperado de: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/view/54903/40522>
- Ferrer, A. (2022). Historia de la globalización II: La Revolución Industrial y el segundo orden mundial. Fondo de Cultura Económica Argentina. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wxGqEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=p+rimera+revolucion+industrial&ots=2JDxcDjwzk&sig=GKC4fMiWqPE_mvF5HeDVZkoqUjU#v=onepage&q&f=false
- Flores-Ruiz, E, Miranda-Novales, M. y Villasís-Keever, M. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergía México*, 64(3), 364-370. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902017000300364

- Fragoso-Altamirano, A. (2020), México y su transición energética; un cambio en pro de la energía Renovable”, LADEE, vol. 1, no. 1, pp. (26–42). Recuperado de: <https://doi.org/10.17981/ladee.01.01.2020.3>.
- Freire-Vinuesa, C., Meneses, K., y Cuesta, G. (2021). América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 1-18. Recuperado de: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/15575>
- Fundación Aquae (2020) Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/energia-solar-ventajas-desventajas/>
- Gandica de Roa, E. (2020). Potencia y Robustez en Pruebas de Normalidad con Simulación Montecarlo. *Revista Scientific*, 5(18), 108-119, e-ISSN: 2542-2987. Recuperado de: http://www.indteca.com/ojs/index.php/Revista_Scientific/article/view/468/1190
- Gautam, A.; Shankar, R.; Vrat, P. (2021) End-of-life solar photovoltaic e-waste assessment in India: a step towards a circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, v. 26, p. 65-77. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/345377344_End-of-life_solar_photovoltaic_e-waste_assessment_in_India_a_step_towards_a_circular_economy
- Ghadikolaie, S (2021). Una revisión ambiental y económica del efecto de la tecnología de enfriamiento de las células solares fotovoltaicas en la reducción de las emisiones de CO2. *Energía solar*, 216, 468-492. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X21000311>
- Gil-Guirado, S y Pérez.-Morales S. (2019) Climatic variability and temperature and rainfall patterns in Murcia (1863-2017). *Climate analysis techniques in the context of global change. Investigaciones Geográficas (España)*, núm. 71, 2019 Universidad de Alicante.+ Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17664420002>
- Gómez Rodríguez, M. A., Gómez Sarduy, J. R., Lorenzo Ginori, J. V., Fonte González, R., García Sánchez, Z. (2021). Pronóstico de la generación eléctrica de sistemas fotovoltaicos. Un inicio en Cuba desde la universidad. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), (253-265). recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000100253
- Goyal, S., Chauhan, S., Mishra, P (2021) Circular economy research: A bibliometric analysis (2000-2019) and future research insights. *Journal of Cleaner Production*, v. 287, 125011. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620350551>
- Hart, J. y Pomponi, F. (2021). Una economía circular: ¿hacia dónde nos llevará? *Economía Circular y Sostenibilidad*, 1 (1), 127-141. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43615-021-00013-4>
- Heredia Viveros, N. (2019). América Latina como epicentro de la energía sustentable mundial. *Journal of Alternative Perspectives in the Social Sciences*, Volume 10 No 1, 49-63 <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=19441088&AN=136334262&h=SuHG%2bpaZPRrTvSF4czZ05nq%2bCjxB0O736U00acVajxe1%2fX1U5U%2bCwVWa3vgFnVzAsO8ZFpj6y6Pm4YYDYzgw%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jr>

[nl%3d19441088%26AN%3d136334262](https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2020-01-19441088)

Hernández Domínguez, L. A. (2020). Viabilidad Y Evaluación Del Rendimiento De Módulos Fotovoltaicos Implementando Un Sistema De Enfriamiento-Limpieza Automatizado. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Recuperado de: <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/1484>

Hernández –Sampieri, R., Mendoza T.R., Christian P. (2018) Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill, México. Recuperado de: <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/1385>

Herrera Casanova, Reinier, García Tamayo, Jesús G., Bello García, Beatriz, León Viltres., Lesyani, & Herrera Fernández, Francisco B. (2022). Propuesta de modelo predictivo inteligente para una planta fotovoltaica. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 16(1), (144-162).Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222718992022000100144&lng=es&tlng=es.

IEA (2021) Perspectivas energéticas mundiales 2020. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

IEA (2021) Demanda y Consumo2021-2035. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/649612/PRODESEN_CAP_TULO-4.pdf

IMCO (2022) Monitor de Competitividad. Recuperado de: <https://imco.org.mx/monitor/energia/>

INEGI (2017) Estudio de información integrada de la Cuenca del Río Sonora. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825087470_1.pdf

INEGI (2020) Censo de Población y Vivienda. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/>

INEGI (2020) Aspectos geográficos, Sonora 2021. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_26.pdf

INEGI (2020). Indicadores Sociodemográficos de México (1930-2000). Y Censos de Población y Vivienda 2010 y 2020. Recuperado de: <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1nto%20aument%C3%B3%20la%20poblaci%C3%B3n%3F,en%2014%20millones%20de%20habitantes>.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015). Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Crecimiento Verde. Recuperado de: https://www.inecc.gob.mx/transparencia/transparencia/libro_blanco.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2021) González Terrazas D., Vermonden Thibodeau A., Gress Carrasco F., Municipios Vulnerables al Cambio Climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. Recuperado de: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/conten_intro/Mpos_Vulnerables_priorizacion_AN_VCC.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),(2018). Summary for Policymakers En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. -O., Pörtner D., Roberts J., Skea P. R., Shukla A., Pirani W., Moufouma-Okia C., Péan R., Pidcock S., Connors J. B. R., Matthews Y., Chen X., Zhou M.

I., Gomis E., Lonnoy T., Maycock M., Tignor and T. Waterfield (eds.). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2019) Calentamiento global de 1,5°C, Resumen técnico para responsables de políticas y preguntas frecuentes. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC (2021). Climate Change 2021 The physical science basis. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

IRENA & International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (IEA-PVPS). (2016). End of life management. Solar Photovoltaic Panels. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf?rev=49a75178e38c46288a18753346fb0b09

IRENA (2019) Renewable power generation cost in 2018 Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2022.pdf?rev=7c0be3e04bfa4cddaedb4277861b1b61

IRENA (2020) Costos de la generación de energía renovable. Resumen Ejecutivo. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020_Summary_ES.pdf?rev=ac2dc583c470469d88ba64f5b014ff5f

IRENA. (2020). Renewable capacity statistics 2020. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf?rev=1a7674fe44044cfc8788af909f28496e

IRENA (2022), Renewable Energy and Jobs Annual Review 2022. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2022.pdf?rev=7c0be3e04bfa4cddaedb4277861b1b61

IRENA (2022), World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Recuperado de: https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2022/mar/irena_weto_summary_2022.pdf?la=en&hash=1da99d3c3334c84668f5caae029bd9a076c10079

Jabbour, A. (2018). Going in circles: new business models for efficiency and value. Journal of Business Strategy, v. 40, n. 4, p. (36-43). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328508435_Going_in_circles_new_business_models_for_efficiency_and_value

Jabbour, C. J., Seuring, S., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jugend, D., De Camargo Fiorini, P., Latan, H., & Izeppi, W. C. (2020). Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. Journal of environmental management, 264, 110416. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720303509>

- Jadhav, G (2022) Classical Theory of Photoelectric Effect, Journal of Applied Physics (IOSR- JAP) Volume 14, Issue 2, pp 34-41. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Ghanshyam-Jadhav-2/publication/359522464_Classical_Theory_of_Photoelectric_Effect/links/6242ded35e2f8c7a03473807/Classical-Theory-of-Photoelectric-Effect.pdf
- Jiménez Carrillo, M. L. (2020). Diseño de nanocomposite resina epoxica/nanopartículas de oro con potencial aplicación en placas solares para su aprovechamiento energético. Tesis Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado de: <https://dspace.usc.es/xmlui/handle/10347/23296>
- Jiménez H. L.M. (2020): Economía Circular-Espiral. Opciones estratégicas desde el reciclaje al cambio sistémico, Dossiers EsF, 37, (7-15). Economistas sin Fronteras, Madrid. Recuperado de: <https://ecosfron.org/portfolio/dossieres-esf-n-o-37-la-economia-circular-una-opcion-inteligente/>
- Kazancoglu, Y., Kazancoglu, I. y Sagnak, M. (2018). A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. Journal of Cleaner Production, (online) 195, pp.1282–1299. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/325547829_A_new_holistic_conceptual_framework_for_green_supply_chain_management_performance_assessment_based_on_circular_economy
- Kazimierski, M., y Argento, M. (2021). Más allá del petróleo. En el umbral de la acumulación por desfosilización. Relaciones internacionales, 30(61), 209-225. Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S231427662021000200209&script=sci_arttext&tlng=es
- Khatib T, Elmenreich W. (2016) Modelado de sistemas fotovoltaicos utilizando MATLAB: Códigos Verdes Simplificados, Publicado por John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, Nueva Jersey. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781119118138.fmatter>
- Kirchherr, J., Rieke, D., Hekkert, P. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. Resources Conservation & Recycling Journal 127, (221-232). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/320074659_Conceptualizing_the_Circular_Economy_An_Analysis_of_114_Definitions
- Kühne K., Sanchez L , Roth J, Tornel C., Gerasimchuk I. (2019) Más allá de los combustibles fósiles: transición fiscal en México. Recuperado de: <https://www.iisd.org/system/files/publications/combustibles-fosiles-transicion-fiscal-en-mexico.pdf>
- Lahoud, G. (2018). Hacia la transición energética: soberanía y diversificación. Soberanía Energética, p. 193. Recuperado de <https://opsur.org.ar/wp-content/uploads/2018/12/Libro-Soberania-energetica-WEB.pdf#page=193cf>
- Leal, JF, León, MM y Sepúlveda, SB (2015). El diodo Schottky como atenuador del efecto Seebeck en una celda Peltier para un control PID de temperatura. Entre Ciencia e Ingeniería, 9 (18), 75-83. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672015000200010

- Lenntech, Propiedades químicas-efectos sobre la salud-efectos ambientales (2020) Recuperado de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/se.htm>
- Ley de Transición Energética en México (2022) Recuperado de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Ley General del Cambio Climático (2022) Recuperado de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Ley General de Economía Circular (2022) Recuperado de: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de México (2022) Recuperado de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de México (2022) Recuperado de: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf
- Li, M. J., y Tao, W. Q. (2016). Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. *Applied Energy*, 187, 203-215. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916316245>
- López, S.M., Carmenates, H, D., Valero, L. y López, L. (2019). Indicadores de cambio climático en las precipitaciones. *Revista Bases de la Ciencia*, (21 – 34). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/334524596_INDICATORS_OF_CLIMATE_CHANGE_IN_PRECIPITATIONS
- Lunardi, M. M., Alvarez-Gaitan, J. P., Bilbao, J. I., & Corkish, R. (2018). A review of recycling processes for photovoltaic modules. *Solar panels and photovoltaic materials*, 9-27. *Solar Panels and Photovoltaic Materials* editado por Beddiaf Zaidi. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/chapters/59381>
- Mapa de ruta de energía de Sonora (2017) Recuperado de: <https://coees.sonora.gob.mx/images/archivos/mapa-de-ruta-de-energia-sonora-final-8-agosto.pdf>
- Marmolejo, M., Garduño R, (2021). Desafíos económicos y legales del gas natural: el caso difícil de México, *The Journal of World Energy Law & Business*, Vol. 14, No. 3, (205-214) Recuperado de: <https://academic.oup.com/jwelb/article-abstract/14/3/205/6297851>
- Martínez-Dalmau, A. (2014). Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. México: Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF) Recuperado de: http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf
- Martínez, G., Silva, F., Altamirano, M., y Hernández, J. A. (2021). Apuntes de la energía fotovoltaica en México. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la Pyme*, 10(1), 17-31. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2021.v10n1e37.17-31>
- Martínez, V. (2013). Paradigmas de investigación. Manual multimedia para el desarrollo de trabajos de investigación. Una visión desde la epistemología dialéctica crítica. México. Recuperado de: <https://pics.unison.mx/wp->

[content/uploads/2013/10/7_Paradigmas_de_investigacion_2013.pdf](#).

- Martínez y Seminario (2021). Celdas solares de perovskita como alternativa para la electrificación rural del Perú. *Social Innova Sciences*, 2(2), 42-50. Recuperado de: <https://socialinnovasciences.org/ojs/index.php/sis/article/view/52/64>
- Matteo, C. A. (2022).Sustentabilidad Energética: un panorama en la industria petrolera global. *Revista Loginn: Investigación Científica Y Tecnológica*, 6(1). Recuperado de: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/LOG/article/view/4741/5109>
- Méndez González, L., Rodríguez P. L., García, V. (2019). Prototipo de estación meteorológica. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Morelia, Michoacán. *Academia Journal*. Recuperado: <http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/7961/paper%20morelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, P. A., Mendoza, D., & Castro, C. I. (2019). La tecnología fotovoltaica, generadora de cambios socio-culturales en familias de la comunidad Kolla Guaraní-Río Blanco Banda Norte. In XXVI Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXVI-SPES), Ayacucho (18-22). <https://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2020/06/Mendoza-P.pdf>
- Meteoblue (2022) Recuperado de: <https://www.meteoblue.com/es/tiempo/mapas/index#coords=4/19.18/-96.14&map=satellite~sat~none~none~none>
- Milenio (2023) Recuperado de: <https://www.milenio.com/negocios/etapa-1-parque-fotovoltaico-puerto-penasco-operara-abril-2023>
- Millar, N., McLaughlin, E., y Börger, T(2019). The circular economy: ¿Swings and Rounda bouts? *Ecological Economics*, 158, 11-19. School of Geography and Sustainable Development University of St. Andrews, UK. Recuperado de: https://research-repository.st-andrews.ac.uk/bitstream/handle/10023/19192/Millar_2018_EE_CircularEconomy_AAM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mohanty P., Tyagi, A. (2015) “Introduction to solar photovoltaic technology,” in *Food, Energy, and Water*, pp. 309–348. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128002117000120>
- Mundaca, L., Busch, H. y Schwer, S. (2018). ¿Transiciones energéticas bajas en carbono exitosas a nivel comunitario? Una perspectiva de justicia energética. *Energía aplicada*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918302848>
- Muteri, V., Cellura, M., Curto, D., Franzitta, V., Longo, S., Mistretta, M. y Parisi, ML (2020). Revisión sobre la evaluación del ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos. *Energías*, 13 (1), 252. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/252>
- Nacional Financiera, (2020) informes anuales. Recuperado de: https://www.nafin.com/portalfn/content/nafin-en-cifras/informes_anuales.html
- Nájar, Alberto (2019) ““Huachicoleo” en México: las consecuencias económicas del desabasto por el combate al robo de combustible” *BBC* (en línea). Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-46834506>
- Núñez-Cacho, P., Górecki, J., Maqueira, J.,(2020). Simulation-Based Managementof Construction Companies under the Circular Economy Concept-Case Study. *Buildings*, 10 (5), p.94.

- Recuperado de:
<https://www.proquest.com/openview/3de048210e502980b0694ced7a7f9969/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2032422>
- Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS-2017) Recuperado de:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- OCDE (2020), Reconstruir mejor: por una recuperación resiliente y sostenible después del COVID-19, Paris. Recuperado de: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134707-n3biudkv0v&title=Reconstruir-mejor-por-una-recuperacion-resiliente-y-sostenible-despues-del-COVID-19
- OECD (2020) <https://www.oecd.org/centrodemexico/>
- OLADE (2021) Organización Latinoamericana de Energía. Panorama energético de América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-imageviewer.pl?biblionumber=15068>
- Oliveira, F. R., Franca, S. Rangel, L. (2018) Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. Resources, Conservation and Recycling, 135, p. 202-209 Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/320844578_Challenges_and_opportunities_in_a_circular_economy_for_a_local_productive_arrangement_of_furniture_in_Brazil
- ONU (2015) Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- ONU (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ordoñez-Palacios, Luis-Eduardo, León-Vargas, Daniel-Andrés, Bucheli-Guerrero, Víctor-Andrés, & Ordoñez-Eraso, Hugo-Armando. (2020). Predicción de radiación solar en sistemas fotovoltaicos utilizando técnicas de aprendizaje automático. Revista Facultad de Ingeniería, 29 (54). Recuperado de: <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.11751>
- Ozgoren, M., Aksoy, MH, Bakir, C. y Dogan, S. (2013). Investigación de rendimiento experimental del sistema fotovoltaico/térmico (PV-T). En EPJ Web de conferencias (Vol. 45, p. 01106). Ciencias EDP. Recuperado de: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2013/06/epjconf_efm2013_01106.pdf
- Paitán, H., Mejía, E. M., Ramírez, E. N., y Paucar, A. V. (2015). Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Ediciones de la U. (Educación). Recuperado de:
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VzOjDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n+cuantitativo-cualitativa+y+redaccion+de+tesis&ots=RWMv5Oa4XT&sig=wNhcUxJtkAz mzDAdp95tc2nJbaU#v=onepage&q=metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20cuantitativo-cualitativa%20y%20redaccion%20de%20tesis&f=false>
- Paño, P. (2021): “Viabilidad de la economía circular en países no industrializados y su ajuste a una propuesta de economías transformadoras. Un acercamiento al escenario Latinoamericano”, CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 101, (289-323).

Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/350529126_Viabilidad_de_la_economia_circular_en_paises_no_industrializados_y_su_ajuste_a_una_propuesta_de_economias_transformadoras_Un_acercamiento_al_escenario_latinoamericano

Partida, H.K., López H.J., Armendáriz, M.J.N. (2020). Celdas solares a base de óxido de Tungsteno. *Miscelánea Científica en México*, Temacilli Editorial, págs. 531-537. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/68925885/Tomo_VI_ING-libre.pdf?1630193997=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMISCELANEA_CIENTIFICA_EN_MEXICO_2020.pdf&Expires=1683845903&Signature=BujlLvJxsvqUX3Cw4mjV4FumHMqrdv-c-yp-Q9vuF9C0LkISLTV9hihHraU8~4tgBdiYBukBEdqX94FTDOgj7BJxFqnYifNpJPgifr224aVgOluhgGC1fbmEpeQphslgmHgLYiYy67Nb9NI0zoki1U~nigOdA3e1XxntU8efGikHAGoR4ZEv9HqzrfmdkbyTBo-DZsg6e3fLsnMNC-O~r1X3BA5WQPpCi2w2UgcO~ilyszKcN-gj0H6vPZs9MEeAo5raNyRxBMkzQMvVFZ0HNQeo7ytvAnncIvAY8QRDq2dzDTHSgxcHPxNMP4cQvOU5y5yAqKpnSgRPtllaTw4g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=534

Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué uso estadístico? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-92672015000100021

Petróleos Mexicanos PEMEX. (2017). Anuario Estadístico 2017. Recuperado de: https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/anuario-estadistico_2017_es.pdf

Pereira, R., Llerena, P., Omar R., Queiróz, W., y Silveira, J. (2018). Estudio técnico del uso de energía solar y biogás en vehículos eléctricos en Ilhabela-Brasil. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (20). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/5055/505555586006/505555586006.pdf>

Peters, S. (2022). I can't live with or without you: Los desafíos de la transformación ambiental para las sociedades dependientes del petróleo. *Identidades*, 10(19), 41-58. Recuperado de: <https://identidadess.files.wordpress.com/2020/10/3-identidades-19-10-2020.pdf>

Petróleos Mexicanos, (2017), Transporte por Ducto, PEMEX, <https://goo.gl/k5cbAJ>

Plan estatal de Desarrollo de Sonora, 2021-2017. Recuperado de: <https://hacienda.sonora.gob.mx/media/202008/plan-estatal-de-desarrollo-2021-2027.pdf>

Plan Municipal de Desarrollo de Hermosillo, 2022-2024. https://www.hermosillo.gob.mx/descargas/PMD_2022WEB.pdf

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (Diario oficial de la federación) Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019

Popovici, CG, Hudişteanu, SV, Mateescu, TD y Cherecheş, NC (2016). Mejora de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos mediante el uso de disipadores de calor enfriados por aire. *Energía Procedia*, 85, (425-432). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021502888X>

- Porta Jaume, López-Acevedo M. & Poch R.M.(2019). Edafología: uso y protección de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SZ3BDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&ots=3KNGwwooe&sig=FjHX5suJZSVcqW3KWhATdk9qUMU#v=onepage&q&f=false>
- Prieto Ríos, C. (2020). Ciclo de mejora en el estudio de la gestionabilidad de la tecnología termosolar cilindroparabólica en el mercado energético. Recuperado de: <https://alojaservicios.us.es/difuseditorial/monografias/jfidop/2019/111.pdf>
- Protocolo de Kyoto, (1998) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Kyoto (ONU). Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- R Studio software (2022). <https://estadistica-dma.ulpgc.es/cursosR4ULPGC/2-instalacion.html>
- Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K. J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G.(2021). Environmental impacts of solar energy systems: A review. Science of Total Environment. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720355182>
- Ramírez, E., y Escribano, E. (2019). El método estudio de caso y su significado en la investigación educativa. In Procesos formativos en la investigación educativa: diálogos, reflexiones, convergencias y divergencias (pp. 203-222). Red de Investigadores Educativos Chihuahua AC. Recuperado de: <https://Dialnet- EIMetodoEstudioDeCasoYSuSignificadoEnLaInvestigaci-7042305.pdf>
- RAN (2021) Registro Agrario Nacional. Recuperado de: <https://www.gob.mx/ran/>
- REMAS. (2021) <http://www.siafeson.com/remas2/>
- Rey Hernandez, J., Rey Martinez, F. J., Velasco, E. (2018). Eficiencia energética de los edificios. Sistema de gestión energética ISO 50001. Auditorías energéticas. Ediciones Paraninfo, SA. Recuperado de: <https://www.abebooks.com/EFICIENCIA-ENERG%C3%89TICA-EDIFICIOS-SISTEMA-GESTI%C3%93N-ISO/30107613298/bd>
- Rodríguez M., Ruiz G., García D. (2022) Apuntes sobre la energía fotovoltaica. Edit.Universitas, Recuperado de: <https://books.google.es/books?id=9HR6EAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Rojas-Hernández y F. Lizana, (2018) Tiempo de recuperación de la energía para sistemas fotovoltaicos basados en silicio cristalino en Costa Rica, Energética, 39(3):195-202. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181559012018000300007
- ROTH. (2021). Ficha de datos de seguridad. Producto Aluminio (Al). Recuperado de: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-5577-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjIwMDJ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oN2UvaDI0LzkwNTM0NDgXNzU2NDYucGRmfDkyZjQ5MDc5ODRjMjYzZDhlMDA4NmFhY2UwNTBhMWYwOTMwNGYzMjNhNzZkNzlhY2RhZjM5YTIIMGVjOTQ0Mjg>
- ROTH. (2021). Ficha de datos de seguridad. Producto Cadmio (Cd). Recuperado de:

- Royne, A., Dey, C. Mills, Molinos, D R. (2005). Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 86, Issue 4, pp. 451-483, ISSN 0927-0248, Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024804003071>
- Ruiz Escudero M (2020). Una mirada al futuro del reciclaje de paneles fotovoltaicos en España, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid España. Recuperado de: <https://www.ingemecanica.com/tutoriales/objetos/publicaciones/publicacion23.pdf>
- Ruiz Molano, A. (2015). Un estudio de caso sobre errores y dificultades observadas en la elaboración de algunas gráficas estadísticas. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Góndola, Ens. Aprend. Cienc.*, 10(1), 26-39. Recuperado de: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-UnEstudioDeCasoSobreErroresYDificultadesObservadas-7531158%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-UnEstudioDeCasoSobreErroresYDificultadesObservadas-7531158%20(1).pdf)
- Russo, MA, Carvalho, D., Martins, N. y Monteiro, A. (2022). Pronosticar lo inevitable: una revisión de los impactos del cambio climático en los recursos de energía renovable. *Evaluaciones y tecnologías de energía sostenible*, 52, 102283. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822003356>
- SAGARPA (2021) Estudio ambiental del parque fotovoltaico la Orejana, información solicitada a través del portal de transparencia, Folio: 0001600108121.
- Salim, H. K., Stewart, R. A., Sahin, O., & Dudley, M. (2019). Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 211, 537-554. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618336321?via%3Dihub>
- Salvioni, D. y Almici, A.,(2020). Transitioning Toward a Circular Economy: The Impact of Stakeholder Engagement on Sustainability Culture. *Sustainability*, 12(20), p.8641. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8641>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. Recuperado de: <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sánchez Verence (2014) Sonora podría abastecer de energía a todo México con tecnología fotovoltaica. Agencia Informativa CONACYT. Recuperado de: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/329-reportaje-con-la-radiacion-solar-que-recibe-el-1-de-sonora-se-podria-generar-energia-suficiente-para-todo-el-pais>
- Santos, G. S., Santos, U., Junior, R., Takiya, C. (2021). Aspectos conceituais e históricos da física moderna: Un foco na dualidad onda-partícula no ensino de física. *Seminário Nacional e Seminário Internacional Políticas Públicas, Gestão e Práxis Educacional*, 8(14). Recuperado de: <http://anais.uesb.br/index.php/semgepraxis/article/viewFile/9867/9673>
- Secretaría de Economía (2021). Panorama Minero del estado de Sonora. Recuperado de: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/SONORA.pdf>
- Secretaría de Energía, SENER, (2012). Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf

- Secretaría de Energía, SENER, (2016). Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)
- Secretaría de Energía, SENER (2019). “PRODESEN 2019-2033”, México. Reporte 2019. <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2019-2033-221654>
- Secretaría de Energía, SENER (2019). La Secretaría de Energía, Rocío Nahle, encabezó la inauguración del parque fotovoltaico La Orejana en Hermosillo, Sonora. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/articulos/la-secretaria-de-energia-rocio-nahle-encabezo-la-inauguracion-del-parque-fotovoltaico-la-orejana-en-hermosillo-sonora>
- Secretaría de Energía. (2019). Balance General de Energía 2018. SENER. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance Nacional de Energía 2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/528054/Balance_Nacional_de_Energia_2018.pdf)
- Secretaría de Energía, SENER (2021). Balance Nacional de Energía 2019. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019>
- Secretaría de Energía SENER (2019) Parque fotovoltaico “La Orejana” abastecerá de energía renovable a más de 220 mil hogares (Prensa) Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/prensa/parque-fotovoltaico-la-orejana-abastecera-de-energia-renovable-a-mas-de-220-mil-hogares-212971>
- SEMARNAT, (2016). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Prontuario estadístico y geográfico de las áreas naturales protegidas de México. <https://www.conanp.gob.mx/prontuario/PRONTUARIOANP2016.pdf>
- Shahbaz, M., Topcu, B. A., Sarigül, S. S., y Vo, X. V. (2021). The effect of financial development on renewable energy demand: The case of developing countries. *Renewable Energy*, 178, (1370–1380). Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.121>
- Shahbaz, M., Sharma, R., Sinha, A. y Jiao, Z. (2021). Análisis del impacto no lineal de los impulsores del crecimiento económico en las emisiones de CO₂: diseño de un marco de ODS para la India. *Política Energética*. 148, 111965. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421520306765>
- Shen G, Du Z, Pan Z, Du J, Zhong X. (2018) Solar Paint from TiO₂ Particles Supported Quantum Dots for Photoanodes in Quantum Dot-Sensitized Solar Cells. *ACS Omega*. 26;3(1):1102-1109. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6641499/>
- Sharadga H, Hajimirza S, and Balog R.S (2020) Time series forecasting of solar power generation for large-scale photovoltaic plants. *Renewable Energy*, vol. 150, (797-807). Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.131>
- Si, Z., Yu, Y., Yang, M. y Li, P. (2020). Método híbrido de pronóstico solar utilizando imágenes visibles de satélite y redes neuronales convolucionales modificadas. *IEEE, Transactions on Industry Applications*, 57(1). <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9211776>
- Sistema Municipal de Planeación Democrática, Agenda de largo plazo del municipio de Hermosillo (2022-2033). Recuperado de: <https://www.hermosillo.gob.mx/pages/agenda-largo-plazo/files/Agenda-Municipal-de-Largo-Plazo-2022-2033.pdf>
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINANP (2022) Recuperado de:

http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm

- Sohani, A., Shahverdian, MH, Sayyaadi, H. y García, DA (2020). Impacto de la humedad absoluta y relativa en el rendimiento de la energía fotovoltaica de silicio mono y policristalino; Aplicación de redes neuronales artificiales. *Revista de Producción más Limpia*, 276, 123016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620330614>
- Solarama (2019). Recuperado de: <https://solarama.mx/blog/que-es-el-commissioning/>
- Solar Gis (2019) Recuperado de: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>
- Statista (2023) Capacidad instalada de energía solar en México de 2011 a 2021(en megavatios). Recuperado de: https://es.statista.com/estadisticas/1238183/capacidad-instalada-energia-solar-mexico/?kw=&crmtag=adwords&gclid=EAIAIQobChMIz_zl_O_6_gIVxixitBh2L-AKLEAMYAyAAEgLvG_D_BwE
- Stolik, D. (2018). Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica. Bosquejo integral para la aplicación de la FV. *Revista Energía y tú*, 82, 9-13, ISSN: 1028-9925.
- Suárez-Eiroa, B., Fernández, E., Méndez-Martínez, G., Soto-Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 214, 952–961. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618340009>
- Téllez H.R, Tenorio F, Juárez E, Vera C. (2022) Estudio de rendimiento energético de bioceldas solares. Vol. 3 No. 1, *South Florida Journal of Development*, Miami, p.323-334 v.3, n.1 . Recuperado de: <https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/1063/901>
- The World Bank. (2017). Global Solar Atlas. Obtenido de World Bank Group. Recuperado de: <https://globalsolaratlas.info/map>
- Torres-Herrera, D. M., Moreno-Romero, P. M., Cabrera-German, D., Cortina-Marrero, H. J., Sotelo-Lerma, M., & Hu, H. (2020). Thermal co-evaporated MoOx: Au thin films and its application as anode modifier in perovskite solar cells. *Solar Energy*, 206, 136-144. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X20306046>
- Truong, QD, Devaraju, MK y Honma, I. (2017). Partículas nanocristalinas de MgMnSiO4 y MgCoSiO4 para baterías recargables de iones de Mg. *Revista de fuentes de energía*, 361, 195-202. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775317308674>
- TWENERGY (2019), “México, en el «Cinturón Solar» de la Tierra, 3º en recepción de luz solar del planeta”, Twenergy.com. Recuperado de: <https://twenergy.com/energia/energia-solar/mexico-en-el-cinturon-solar-de-la-tierra-3-en-recepcion-de-luz-solar-del-plane-ta-1845/>
- Urcuyo, Roberto, González-Flores, Diego, & Cordero-Solano, Karla. (2021). Perspectivas y aplicaciones reales del grafeno después de 16 años de su descubrimiento. *Revista Colombiana de Química*, 50(1), 51-85. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042021000100051
- Valderrama, José O. (2018). Huella del Carbono Cambio Climático, *Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. Información tecnológica*, 29(4), Recuperado de:

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400001>

- Valente, M., y Figueroa, R. (2020). Física Aplicada II. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de: https://www.famaf.unc.edu.ar/~valente/Documents/DidacticsMaterial/FISICA_APLICADA_II_UFRO.pdf
- Vega, C. (2015). Papel de trabajo, Aspectos epistemológicos de la estimación estadística de modelos: Investigación Ex-post-Facto. Procesos Estocásticos del IMYCA, 1-8. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Cristobal-Vega-2/publication/275100869_Working_Paper_Epistemological_aspects_of_statistical_estimation_on_models_Ex_post_facto_Research/links/55332af90cf27acb0dedb600/Working-Paper-Epistemological-aspects-of-statistical-estimation-models-Ex-post-facto-Research.pdf
- Venegas B. M (2018) Caracterización de los parques solares fotovoltaicos en las diferentes regiones del país para la expansión óptima de generación, tesis maestría UNAM. Recuperado de: https://repositorio.unam.mx/contenidos/caracterizacion-de-los-parques-solares-fotovoltaicos-en-las-diferentes-regiones-del-pais-para-la-expansion-optima-de-3428883?c=B9DEo4&d=false&q=*.:*&i=3&v=1&t=search_1&as=0
- Vier, MB, Schreiber, D, Froehlich, C. y Jahno, VD (2021). Reflexiones sobre la Economía Circular. COLOQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional, 18 (4), 27-47. Recuperado de <http://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/2206>
- Vieira, J. I. (2018). Expansión del robo de combustible en México: de actividad delictiva a fenómeno criminal. Boletín IEEE, (12), 611-625. Recuperado de: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2018/DIEEEO119_2018JIGMON-Mexico.p
- Vohra, K., Vodonos, A., Schwartz, J., Marais, E. A., Sulprizio, M. P., & Mickley, L. J. (2021). Global Mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion. Results from GEOS-Chem. En Environment Research, Volume 195. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>
- Washington Mills (2015) Ficha de datos de seguridad de Carburo de Silicio, Carborex-C5-Green. Recuperado de: https://www.washingtonmills.com/sites/default/files/2019-03/carborex_c-5_green_spanish.pdf
- Weckend S., Wade A., and Heath G.A. (2016) End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels. (Nº NREL/TP-6A20-73852). Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), Golden, CO (Estados Unidos). Recuperado de: <https://www.osti.gov/biblio/1561525>
- WMO, GCP, UNEP, IPCC, WHO, (2021) United in Science 2021: A multi-organization highlevel compilation of the latest climate Science Information, Geneva. Recuperado de: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10794
- World Energy Review- ENI (2022). Recuperado de: <https://www.eni.com/assets/documents/eng/topic/global-energy-scenarios/world-energy-review-2022.pdf>
- Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, AL y Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. Waste Management Volume 75, pp. (450-458). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18300576>

- Yilbas, BS, Ibrahim, A, Ali, H., Khaled, M. y Laoui, T.(2018). Hydrophobic and optical characteristics of graphene and graphene oxide films transferred onto functionalized silica particles deposited glass surface. *Applied Surface Science* 442, 213-223. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433218305312>
- Zhang, Y., Rupp, JA y Graham, JD (2021). Contraste de evaluaciones públicas y científicas del fracking. *Sostenibilidad*, 13 (12), 6650. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/12/6650>
- Zottele Allende, A., & Nájera Jiménez, L. (2022). Economía circular: contribución a la Agenda 2030. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 17(4), e792. Recuperado de: <https://www.remf.org.mx/index.php/remef/article/view/792>

9. ANEXOS

9.1 Conceptos Relevantes

Ley de Transición Energética de México (2022)

- **Aprovechamiento sustentable de la energía:** El uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades para su explotación, producción, transformación, distribución y consumo, incluyendo la eficiencia energética.
- **Eficiencia Energética:** Todas las acciones que conlleven a una reducción económicamente viable, de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que demanda la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior.
- **Energías Renovables:** Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.
- **Energías fósiles:** Aquellas que provienen de la combustión de materiales y sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que contienen carbono y cuya formación ocurrió a través de procesos geológicos.
- **Huella de Carbono:** La medida de la cantidad total de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero de una población definida, sistema o actividad, considerando todas las fuentes, sumideros y almacenamientos relevantes dentro de los límites espaciales y temporales de una población, sistema o actividad de interés. Se calcula utilizando como referente el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono.

Ley General de Cambio Climático (2022)

- **Cambio climático:** Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

- Gases de efecto invernadero: Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y emiten radiación infrarroja a la atmósfera.
- Resiliencia: Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2022)
- Desarrollo Sustentable: Es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.
- Emisión: Liberación al ambiente de toda sustancia, en cualquiera de sus estados físicos, o cualquier tipo de energía, proveniente de una fuente.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2022)

- Aprovechamiento de los Residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.
- Disposición Final: Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.
- Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.
- Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.
- Reciclado: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten

restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.

- Reutilización: El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación.

9.2. Normatividad

9.2.1 Tratados Internacionales

Convención de Viena sobre el Derecho de los Tratados (1969)

Primera Conferencia Mundial sobre el Clima (1979)

Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre cooperación para la protección y mejoramiento del medio ambiente en la zona fronteriza (1983)

Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono (1985)

Convenio entre los Estados Unidos mexicanos y la Republica de Guatemala sobre protección y mejoramiento del ambiente de la zona fronteriza (1987).

Protocolo de Montreal relativo a las sustancias agotadoras que agotan la Capa de Ozono (1987)

Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y Belice sobre la protección y mejoramiento del ambiente y conservación de los recursos naturales en la zona fronteriza (1991)

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) también conocida como “La Cumbre de la tierra” (1992)

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992)

La Declaración de Rio (1992). (El nombre oficial es: Declaración de las Naciones Unidas sobre medio Ambiente y Desarrollo)

Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte 1993)

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994)

Protocolo de Kyoto a la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1997)

Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU (2000)
Acuerdo entre el gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el gobierno de la República Francesa sobre el mecanismo del desarrollo limpio (2004)
Programa de Trabajo de Nairobi (2006)
Declaración de Campeche sobre la estrategia mesoamericana de sustentabilidad ambiental (2008)
Acuerdos de Cancún (2010)
Acuerdo para el establecimiento del Instituto Global para el crecimiento verde (2012)
21° Conferencia de las Partes (COP21) (2015)
Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible (2015)
Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015)
Acuerdo de París sobre cambio climático (2015)
22° Conferencia de las Partes (COP22) (2016)

9.2.2. Reuniones y Alianzas

G20 (1999)
Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) (2014)
Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2014)
Foro Internacional de Energía (2014)
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) (2014)
Cooperación Trilateral de Norteamérica (2014)
Proyecto Mesoamérica (2014)
Alianza de energía y clima de las Américas (ECPA) (2015)
Alianza para la Prosperidad del Triángulo Norte (APTN) (2015)
Foro Económico Mundial (WEF) (2015)
Ministerial de Energía Limpia (CEM) (2015)
Foro de Liderazgo en Captura de Carbono (CSLF) (2018)
Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI) (2016)
Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC, apartado protección al medio ambiente) (2018)

9.2.3. Acuerdos, Decretos y Decisiones

Acuerdo que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento (DOF.14-08-2015).

Acuerdo en el que se expiden los procedimientos para la emisión de cartas de aprobación de proyectos de reducción o captura de emisiones de gases de efecto invernadero –SEMARNAT (DOF-27-10-2005).

Decisión 17/CP.7. Modalidades y procedimientos de un mecanismo para el desarrollo limpio, según se define en el artículo 12 del Protocolo de Kioto.

9.2.4. Legislación Nacional (México)

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículos 4, 24, 25, 26, 27, 28,73

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Ley de Planeación

Ley sobre la celebración de Tratados

Ley de Cooperación Internacional para el Desarrollo

Ley General del Cambio Climático

Reglamento de la Ley General del Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmosfera.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Ley General de Desarrollo Rural Sustentable

Ley de Energía Geotérmica

Ley de Energía para el Campo
Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos
Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos
Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética
Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
Reglamento para la ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
Ley de Transición Energética
Reglamento de la Ley de Transición Energética
Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
Ley de la Industria Eléctrica
Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica
Ley de la Comisión Federal de Electricidad
Reglamento de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad

9.2.5. Legislación Estatal (Sonora)

Constitución Política del Estado de Sonora
Ley de Planeación del Estado de Sonora.
Reglamento de la Ley de Planeación del Estado de Sonora
Ley de Cambio Climático del Estado de Sonora
Reglamento de la Ley del Cambio Climático del Estado de Sonora
Ley de Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora
Reglamento de la Ley de Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora
Ley de Fomento de Energías Renovables y Eficiencia Energética del Estado de Sonora
Reglamento de la Ley de Fomento de Energías Renovables y Eficiencia Energética del Estado de Sonora.

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora

Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora en materia de Ordenamiento Ecológico.

Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora, en materia de Áreas Naturales Protegidas.

Ley que Crea la Procuraduría Ambiental del Estado de Sonora

Reglamento Interior de la Procuraduría Ambiental del Estado de Sonora

9.2.6 Reglamentación Municipal (Hermosillo)

Reglamento de Ecología y Protección al Ambiente al Municipio de Hermosillo

9.2.7. Normas Oficiales Mexicanas

NMX-J-618/1-ANCE-2015

Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)-Parte 1: Requisitos generales para su construcción.

NMX-J-643/1-ANCE-2011

Dispositivos fotovoltaicos-Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos Fotovoltaicos

NMX-J-643/2-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia

NMX-J-643/3-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte 3: Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación espectral.

NMX-J-643/5-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente a la celda (ECT) de Dispositivos fotovoltaicos (FV) por el método de tensión de circuito abierto.

NMX-J-643/7-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte7: Cálculo de la corrección del desajuste espectral en las mediciones de dispositivos fotovoltaicos.

NMX-J-643/9-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos –Parte 9: Requisitos para la realización del simulador solar.

NMX-J-643/10-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte 10: Métodos de mediciones lineales.

NMX-J-643/11-ANCE-2011

Dispositivos Fotovoltaicos-Parte 11: Procedimientos para corregir las mediciones de temperatura e irradiación de las características corriente-tensión.

NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005

Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental, (modificación 2007)

NOM-008-SCFI-2002

Sistema General de Unidades de Medida

NOM-085-SEMARNAT-2011

Contaminación atmosférica. Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.

NOM-001-SEDE-2012

Especificaciones sobre las instalaciones eléctricas (utilización)

9.2.8 Planes y Programas.

Plan Nacional de Desarrollo 2018-2025

Programa Sectorial de Energía

Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031

Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2020-2024

Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables

Prospectivas del Sector Energético 2016-2030

9.2.9 Instituciones para Promover la Inversión de Energía Renovable en México.

Para poder incentivar la participación privada en la generación de energía eléctrica a través de energías limpias o fuentes renovables de energía, diferentes instituciones como la CFE, CRE y la SENER, otorgan los siguientes incentivos:

- a) Banco de energía: permite la acumulación de excedentes de energía a los productores bajo el esquema de autoabastecimiento para ser utilizados en el futuro o ser vendidos a la CFE.
- b) Tarifa preferencial para la transmisión de energía: cargo por servicio de transmisión para ER o cogeneración eficiente de \$0.14 pesos/kWh, en lugar de \$0.30 \$0.40 pesos/kWh que es la tarifa de transmisión que se cobra por energía basada en fuentes tradicionales.
- c) Medición neta (Net Metering): se aplica a proyectos de pequeña escala (hasta 10kWp para hogares y 30 kWp para empresas). Consiste en compensar el costo de la electricidad utilizada con la energía aportada a la red nacional.
- d) Metodología de contraprestaciones para el pago a los generadores de ER
Establece los precios máximos y mínimos con los que el suministrador (CFE) podrá adjudicar los contratos de generación de electricidad en los esquemas de pequeño productor y productor independiente, así como también la contraprestación (remuneración) que les pagará a las empresas ganadoras.

9.2.10 Programas Federales

Para apoyar el desarrollo de energías alternativas, se cuenta con:

1- Fondos.

Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, el cual tiene como objetivo impulsar el sector energético de la República Mexicana, a través de una serie de proyectos, programas y acciones que promuevan el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética para reducir el incremento en las emisiones de GEI. (Informe cero 2009 – 2015).

- a) Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética SENER-Conacyt. Impulsa la investigación científica aplicada y desarrollo tecnológico para impulsar las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética.

- b) Arancel cero. Exenta del pago de impuesto general de importación o de exportación a equipos anticontaminantes y sus partes: maquinaria, equipo, instrumentos, materiales, animales, plantas y demás artículos para investigación y desarrollo tecnológico.
- c) Depreciación acelerada de activos fijos: Permite la depreciación del 100% mde las inversiones en equipo y maquinaria para la generación de energía a través de fuentes renovables.

9.2.11 Fuentes de Financiamiento.

- a) Nacional Financiera, S.N.C. (NAFIN) se encarga de financiar el desarrollo de proyectos de ER a través del fondeo con recursos de organismos internacionales, financiamiento con emisión de capital y colocación de deuda para proyectos en construcción o en operación. (Nacional Financiera 2020).
- b) Banco Nacional de Obras y Servicios, S. N.C. (BANOBRAS): Banco de Desarrollo que trabaja con el sector público y privado a través del financiamiento de proyectos de infraestructura y servicios públicos de los gobiernos locales, apoya su fortalecimiento financiero e institucional e promueve la inversión y financiamiento privado.
- c) Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext) cuenta con fondeo externo para proyectos sustentables a largo plazo que incluyen proyectos de generación de ER, protección y mejora ambiental y mecanismos de Desarrollo Sustentable.
- d) Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) financia la instalación de tecnologías de energías renovables y eficiencia energética utilizadas en agronegocios de áreas rurales.
- e) Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE): Financiamiento a proyectos de generación y cogeneración de energía eléctrica hasta de 500 KW, para la adquisición e instalación de equipos y sistemas, con el uso de fuentes de energías renovables.

9.2.12 Municipios de Sonora Vulnerables al Cambio Climático, con Base en los Resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC).

El Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), es una herramienta que analiza problemáticas específicas relacionadas con el clima, muestra la vulnerabilidad territorial, considerando las condiciones climáticas actuales y futuras; identifica las regiones, sectores o poblaciones vulnerables para contribuir en la planeación de una estrategia de diseño, focalización e implementación de procesos de adaptación, monitoreo y evaluación para fortalecer la política pública de adaptación al cambio climático. La vulnerabilidad no sólo depende de las condiciones climáticas adversas, sino de la capacidad de la sociedad de anticiparse, enfrentar, resistir y recuperarse de un determinado impacto.

Las vulnerabilidades que evalúan son:

- Vulnerabilidad de asentamientos humanos a inundaciones.
- Vulnerabilidad de asentamientos humanos a deslaves.
- Vulnerabilidad de la población al incremento potencial del dengue.
- Vulnerabilidad de la producción ganadera extensiva a inundaciones.
- Vulnerabilidad de la producción ganadera extensiva a estrés hídrico.
- Vulnerabilidad de la producción forrajera a estrés hídrico.

De acuerdo al ANVCC, para lograr mitigar, las vulnerabilidades por el cambio climático, los municipios deben de elaborar programas e implementar acciones de mitigación, adaptación y resiliencia, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- La prestación a toda la población del servicio de agua potable y saneamiento.
- Tener una planeación del ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano.
- Crear programas, implementarlos, evaluarlos y retroalimentarlos, sobre la preservación de los recursos naturales y la protección ambiental.
- Fortalecer y actualizar el funcionamiento de Protección civil.
- Realizar eficientemente el manejo de residuos sólidos municipales.
- Desarrollar proyectos integrales de mitigación al cambio climático para impulsar el transporte eficiente y sustentable, tanto público como privado.
- Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos.
- Realizar campañas de educación e información, para la concientización de la ciudadanía.

A continuación se presenta una tabla con los municipios vulnerables y el grado de vulnerabilidad.

9.3 Municipios de Sonora vulnerables al cambio climático

Con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC).

Nombre del municipio	Clave del municipio	Número de Vulnerabilidades en Muy Alto o Alto (1-6)
Bácum	26012	4
San Miguel de Horcasitas	26056	4
Carbó	26020	3
Etchojoa	26026	3
Benito Juárez	26071	3
Benjamín Hill	26016	3
Huatabampo	26033	3
Átil	26007	3
Baviácora	26014	3
Empalme	26025	3
Huépac	26034	3
Opodepe	26045	3
Santa Ana	26058	3
Banámichi	26013	3
Ónavas	26044	3
Oquitoa	26046	2
Trincheras	26964	2
Imuris	26035	2
Rayón	26050	2
Arivechi	26005	2
Bacadéhuachi	26008	2
Bavispe	28015	2
Cajeme	26018	2
La Colorada	26021	2
Cucurpe	26022	2
Divisaderos	26024	2
Huachineras	26031	2
Huásabas	26032	2
Nácori Chico	26040	2
Nogales	26043	2
Puerto Peñasco	26048	2
San Pedro de la Cueva	26057	2
Sáric	26060	2
Soyopa	26061	2
Tepache	26063	2
Tubutama	26065	2

Villa Pesqueira	26068	2
San Ignacio Río Muerto	26072	2
Bacoachi	26011	2
Granados	26028	2
Navojoa	26042	2
Sahuaripa	26052	2
Santa Cruz	26059	2
San Felipe de Jesús	26053	2
Cumpas	26023	2
Naco	26039	2
Villa Hidalgo	26067	2
Aconchi	26001	2
Mazatán	26037	1
Ures	26066	1
Guaymas	26029	1
Bacanora	26009	1
Bacerac	26010	1
Caborca	26017	1
Rosario	26051	1
General Plutarco Elías Calles	26070	1
Arizpe	26006	1
Cananea	26019	1
Moctezuma	26038	1
Nacozari de García	26041	1
San Luis Río Colorado	26055	1
Magdalena	26036	1
Pitiquito	26047	1
Altar	26004	1
Fronteras	26027	1

Fuente: Atlas de vulnerabilidad del cambio climático (ANVCC). Instituto de Ecología y Cambio Climático (2021)