



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA: APROVECHAMIENTO DE LA  
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES”.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

**PRESENTA:**

**ALEJANDRO CORTÉS FUENTES**

**ASESORES:**

**M.C. ISMAEL ALBINO PADILLA**

**DR. ALEJANDRO BAUTISTA HERNÁNDEZ**

**PUEBLA, PUE.**

**24 DE MAYO DE 2024**



No. de Oficio SAC/0477/2024

**C. Alejandro Cortés Fuentes -201028991-  
Pasante de Licenciatura en Ingeniería  
Mecánica y Eléctrica  
Presente.**

En atención a la Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional, se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

**"SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA: APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES".**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como director de tema al Mtro. Ismael Albino Padilla y como Co director al Dr Alejandro Bautista Hernández.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z. a de 19 de febrero de 2024

M. I. Angel Cecilia Guerrero Zamora  
Director



Facultad  
de Ingeniería

Bvld. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
222 229 55 00 Ext. 7610

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora**  
**Director de la Facultad de Ingeniería**  
**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**  
**P r e s e n t e.**

El que suscribe: Mtro. Ismael Albino Padilla, asesor del tema de tesis

**“SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA: APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ZONAS RURALES”.**

Presentada por el C. Alejandro Cortés Fuentes -201028991-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/0477/2024 con fecha de emisión 19 de febrero de 2024, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

**Atentamente**  
**“Pensar bien, para vivir mejor”**  
**H. Puebla de Z. a 21 de febrero de 2024**



Mtro. Ismael Albino Padilla  
Asesor de Tema

M'IAP/barv  
C.c.p. Archivo

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                                                                                                     | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>                                                                                                                      | <b>8</b>  |
| <b>GLOSARIO .....</b>                                                                                                                              | <b>8</b>  |
| <b>CAPÍTULO I.....</b>                                                                                                                             | <b>11</b> |
| <b>PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN .....</b>                                                                                                            | <b>11</b> |
| 1.1 RESUMEN .....                                                                                                                                  | 12        |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                                                                               | 13        |
| 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                                                                            | 13        |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....                                                                                                                        | 13        |
| 1.3.2 OBJETIVOS PARTICULARES .....                                                                                                                 | 13        |
| 1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....                                                                                                                | 14        |
| 1.5 MARCO CONTEXTUAL.....                                                                                                                          | 14        |
| 1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA .....                                                                                                                    | 15        |
| 1.7 HIPÓTESIS .....                                                                                                                                | 15        |
| 1.8 JUSTIFICACIÓN.....                                                                                                                             | 15        |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>                                                                                                                           | <b>17</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                                                                                                          | <b>17</b> |
| 2.1 INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                             | 18        |
| 2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....                                                                                                          | 19        |
| 2.3 CAMBIO CLIMÁTICO .....                                                                                                                         | 21        |
| 2.4 ORIGEN DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....                                                                                                              | 22        |
| 2.4 GASES DE EFECTO INVERNADERO.....                                                                                                               | 24        |
| 2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO .....                                                                                         | 25        |
| 2.5 ORGANIZACIONES INTERNACIONALES COMO EL PANEL INTERGUBERNAMENTAL<br>DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA ONU (IPCC) .....                                  | 27        |
| 2.6 ORGANIZACIONES CREADAS A NIVEL INTERNACIONAL PARA LA ELABORACIÓN DE<br>POLÍTICAS PÚBLICAS Y ACUERDOS ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.... | 28        |
| 2.7 PROTOCOLO DE KIOTO .....                                                                                                                       | 30        |
| 2.8 ACUERDO DE PARÍS.....                                                                                                                          | 30        |
| 2.9 FECHAS RELEVANTES DE LAS (COP) CONFERENCE OF THE PARTIES. ....                                                                                 | 31        |
| 2.10 ORGANIZACIONES PARA DESARROLLAR POLÍTICAS PÚBLICAS CLIMÁTICAS .....                                                                           | 32        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>                                                                                                                           | <b>34</b> |
| <b>ENERGIAS RENOVABLES.....</b>                                                                                                                    | <b>34</b> |
| 3.1 EVOLUCIÓN ENERGÉTICA .....                                                                                                                     | 35        |
| 3.2 ENERGÍA .....                                                                                                                                  | 36        |
| 3.3 TERMODINÁMICOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA.....                                                                                         | 37        |

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4 ELECTRICIDAD .....                                                                          | 37        |
| 3.5 FUENTES TRADICIONALES DE ENERGÍA .....                                                      | 37        |
| 3.6 COMBUSTIBLES FÓSILES.....                                                                   | 38        |
| 3.7 TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES.....                                                             | 38        |
| 3.8 ENERGÍA NUCLEAR .....                                                                       | 40        |
| 3.9 SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO .....                                       | 41        |
| 3.10 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE .....                                                         | 41        |
| 3.11 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA .....                                                               | 42        |
| 3.12 ENERGÍA EÓLICA.....                                                                        | 42        |
| 3.13 ENERGÍA DE LA BIOMASA.....                                                                 | 43        |
| 3.14 ENERGÍA GEOTÉRMICA .....                                                                   | 43        |
| 3.15 ENERGÍA SOLAR.....                                                                         | 44        |
| 3.16 RADIACIÓN SOLAR.....                                                                       | 45        |
| 3.17 CONSTANTE Y ESPECTRO SOLAR.....                                                            | 46        |
| 3.18 ESPECTRO SOLAR.....                                                                        | 46        |
| 3.19 RECURSO SOLAR EN MÉXICO .....                                                              | 49        |
| 3.20 IRRADIACIÓN GLOBAL .....                                                                   | 50        |
| 3.21 IRRADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y DIFUSA ANUALES.....                                            | 51        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>                                                                        | <b>52</b> |
| <b>ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>                                                          | <b>52</b> |
| 4.1 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....                                               | 53        |
| 4.2 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA? .....                                                      | 54        |
| 4.3 CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR.....                                                          | 54        |
| 4.4 TRAYECTORIAS SOLARES .....                                                                  | 54        |
| 4.5 DEFINICIONES PARA OBSERVADOR TERRESTRE. ....                                                | 56        |
| 4.6 EFECTO FOTOVOLTAICO .....                                                                   | 59        |
| 4.7 PRINCIPIOS BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....                                          | 61        |
| 4.8 SISTEMA NOCTURNO .....                                                                      | 62        |
| 4.9 COMPONENTES PRICIPALES DE UNA P LANTA FOTOVOLTAICA .....                                    | 64        |
| 4.9.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA .....                                                              | 64        |
| 4.10 TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA.....                                                               | 66        |
| 4.11 EL MÓDULO FOTOVOLTAICO (FV) .....                                                          | 67        |
| 4.11.1 SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN .....                                                          | 71        |
| 4.11.2 PARÁMETRO QUE CARACTERIZA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BATERÍA ES SU CAPACIDAD NOMINAL ..... | 72        |
| 4.12 PANEL FOTOVOLTAICO .....                                                                   | 74        |
| 4.13 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....                                                       | 78        |
| 4.14 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS .....                                                      | 79        |
| 4.15 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED .....                                              | 81        |
| 4.16 DISTRIBUCIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....                                            | 83        |

|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.17 DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONECTADO RED .....                                                           | 84         |
| 4.18 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ANUAL .....                                                           | 84         |
| 4.19 MINI-REDES SOLARES.....                                                                                      | 85         |
| 4.20 OBJETIVOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....                                                             | 86         |
| 4.21 OBJETIVO DE LOS PANELES SOLARES .....                                                                        | 87         |
| 4.22 ¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR? .....                                            | 88         |
| 4.23 EFECTO DE LA ENERGÍA SOLAR.....                                                                              | 89         |
| 4.24 EFECTO SOCIOECONÓMICO .....                                                                                  | 90         |
| 4.25 IMPACTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....                                                              | 91         |
| 4.25.1 IMPACTO EN EL USO DE SUELO.....                                                                            | 92         |
| 4.25.2 IMPACTO VISUAL .....                                                                                       | 92         |
| 4.25.3 IMPACTO SOBRE LA FLORA Y LA FAUNA .....                                                                    | 92         |
| <b>CAPÍTULO V.....</b>                                                                                            | <b>94</b>  |
| <b>ENERGIA SOLAR EN ZONAS RURALES .....</b>                                                                       | <b>94</b>  |
| 5.1 LA IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES .....                                                     | 95         |
| 5.2 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES .....                                                         | 96         |
| 5.3 ¿CÓMO LA ENERGÍA SOLAR PUEDE SER IMPLEMENTADA EN ZONAS RURALES? ..                                            | 98         |
| 5.4 PUNTOS CLAVE SOBRE LAS TECNOLOGÍAS SOLARES MÁS ADECUADAS PARA ZONAS RURALES.....                              | 99         |
| 5.5 FOMENTO DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LAS ZONAS RURALES.....                                    | 100        |
| 5.6 ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVLTAICOS .....                                              | 101        |
| 5.7..... ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y EMPRENDIMIENTOS .....                                                          | 101        |
| 5.8 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS QUE PUEDEN VINCULARSE A SISTEMAS SOLARES FUERA DE LA RED EN ZONAS RURALES .....       | 102        |
| 5.9 FORMAS EN QUE SE PUEDE UTILIZAR LA ENERGÍA SOLAR PARA MEJORAR LOS RESULTADOS DE SALUD EN ALDEAS REMOTAS ..... | 103        |
| 5.10 DESARROLLO SOSTENIBLE Y USO RESPONSABLE DE RECURSOS.....                                                     | 104        |
| 5.11 POTENCIAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL Y ACCESO A SERVICIOS BÁSICOS ....                                         | 104        |
| 5.12 PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RURALES EN EL MUNDO ...                                             | 105        |
| 5.13 PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RURALES EN MÉXICO .....                                             | 106        |
| 5.14 DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES .....                                            | 107        |
| 5.15 USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA “GIS” EN PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES O LIMPIAS .....          | 108        |
| 5.16 PAÍSES EN DESARROLLO QUE HAN UTILIZADO LOS SIG PARA PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES .....        | 109        |
| 5.17 GIS PARA PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES DE MÉXICO.....                                          | 110        |
| <b>CAPÍTULO VI .....</b>                                                                                          | <b>111</b> |

|                                                                        |                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>MARCO NORMATIVO Y REFORMA ENERGÉTICA EN MÉXICO .....</b>            | <b>111</b>                                                                |
| 6.1 EL ACCESO A ENERGÍA LIMPIA Y RENOVABLE EN MÉXICO .....             | 112                                                                       |
| 6.2 CONTEXTO ACTUAL EN MÉXICO .....                                    | 114                                                                       |
| 6.3 MÉXICO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO .....                            | 115                                                                       |
| 6.4 LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA CLIMÁTICA MEXICANA .....               | 117                                                                       |
| 6.5 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL .....                                     | 118                                                                       |
| 6.6 MATRIZ ENERGÉTICA .....                                            | 118                                                                       |
| 6.7 DESAFÍOS Y PROBLEMÁTICAS .....                                     | 119                                                                       |
| 6.8 OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO .....                             | 119                                                                       |
| 6.9 REFORMA ENERGÉTICA .....                                           | 121                                                                       |
| 6.10 REFORMA ENERGÉTICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO .....                   | 122                                                                       |
| 6.11 MARCO NORMATIVO EN MÉXICO .....                                   | 123                                                                       |
| 6.11.1 LEGISLACIONES .....                                             | 124                                                                       |
| 6.12 .....                                                             | MECANISMOS Y POLÍTICAS DE FOMENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES                  |
| .....                                                                  | 125                                                                       |
| 6.13 .....                                                             | INSTRUMENTOS DE POLÍTICA ENERGÉTICA DE FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES |
| .....                                                                  | 126                                                                       |
| 6.13.1 .....                                                           | LEGISLACIÓN SECUNDARIA CON RESPECTO A LA REFORMA ENERGÉTICA.              |
| .....                                                                  | 127                                                                       |
| 6.14 LEYES FEDERALES EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO ..... | 128                                                                       |
| 6.15 LEYES ESTATALES EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES .....           | 131                                                                       |
| 6.16 BIENESTAR AMBIENTAL .....                                         | 131                                                                       |
| <b>CONCLUSIONES. ....</b>                                              | <b>132</b>                                                                |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                                               | <b>134</b>                                                                |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1</b> Gases de efecto invernadero                               | 20 |
| <b>Figura 2.2</b> Anomalía de la Temperatura Global                         | 23 |
| <b>Figura 2.3</b> Emisiones de GEI y calentamiento global                   | 24 |
| <b>Figura 3.1</b> Estructura del Sol                                        | 40 |
| <b>Figura 3.2</b> Irradiancia espectral del Sol                             | 42 |
| <b>Figura 3.3</b> Tipos de radiación                                        | 43 |
| <b>Figura 3.4</b> Irradiación global por estación del año                   | 45 |
| <b>Figura 3.5</b> Irradiación global anual (kWh/m <sup>2</sup> día)         | 46 |
| <b>Figura 4.1</b> Trayectoria solar                                         | 49 |
| <b>Figura 4.2</b> Coordenadas polares                                       | 49 |
| <b>Figura 4.3</b> AM absorción con mayor incidencia oblicua que en vertical | 50 |
| <b>Figura 4.4</b> Ángulos que definen la posición                           | 52 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 4.5</b> Angulo de declinación                                                                     | 54  |
| <b>Figura 4.6</b> Diseño y funcionamiento de una célula fotovoltaica                                        | 56  |
| <b>Figura 4.7</b> Sistema fotovoltaico nocturno                                                             | 59  |
| <b>Figura 4.8</b> Funcionamiento de una célula solar                                                        | 61  |
| <b>Figura 4.9</b> Circuito eléctrico equivalente de una célula solar                                        | 63  |
| <b>Figura 4.10</b> Disposición en serie de las 36 células                                                   | 63  |
| <b>Figura 4.11</b> Efecto del sombreado en dos células en serie                                             | 64  |
| <b>Figura 4.12</b> Efecto del sombreado en dos células en serie usando diodos de paso                       | 65  |
| <b>Figura 4.13</b> Diagrama de conexión de las 36 células de un módulo                                      | 66  |
| <b>Figura 4.14</b> Variación típica de la capacidad en función del tiempo de descarga, indicada en % de C20 | 67  |
| <b>Figura 4.15</b> Estructura de un panel fotovoltaico                                                      | 68  |
| <b>Figura 4.16</b> Generador fotovoltaico                                                                   | 70  |
| <b>Figura 4.17</b> Componentes de un sistema fotovoltaico                                                   | 73  |
| <b>Figura 4.18</b> Instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica                              | 76  |
| <b>Figura 6.1</b> Principios rectores que sustentan la Política Nacional de Cambio Climático                | 121 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 2.1</b> Gases de Efecto Invernadero                                          | 19  |
| <b>Tabla 3.1</b> Comparación de emisiones por central                                 | 35  |
| <b>Tabla 4.1</b> Eficiencia y área de los materiales utilizados en las celdas solares | 61  |
| <b>Tabla 4.2</b> Principales módulos fotovoltaicos                                    | 69  |
| <b>Tabla 4.3</b> Efectos negativos de los proyectos solares y medidas de mitigación   | 86  |
| <b>Tabla 6.1</b> Legislación secundaria con respecto a la reforma energética          | 118 |
| <b>Tabla 6.2</b> Leyes estatales relacionadas con energías renovables                 | 122 |

## GLOSARIO

|                  |                                     |
|------------------|-------------------------------------|
| GEI              | Gases de efecto invernadero         |
| AM               | Masa aire                           |
| ONU              | Organización naciones unidad        |
| CO <sub>2</sub>  | Dióxido de carbono                  |
| CH <sub>4</sub>  | Metano                              |
| N <sub>2</sub>   | Nitrógeno                           |
| O <sub>2</sub>   | Oxígeno                             |
| N <sub>2</sub> O | Óxido nitroso                       |
| O <sub>3</sub>   | Ozono                               |
| ppmv             | Partes por millón de volumen        |
| ppbv             | Partes por mil millones de volumen. |
| pgc/año          | Petagramos de carbono por año.      |
| Tg/año           | Teragramos por año                  |
| Kw               | Kilowatts                           |

## GLOSARIO

|                |                                                                               |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| J              | Julios                                                                        |
| CMNUCC         | Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático             |
| COP            | Conferencia de las partes                                                     |
| GWP            | Potencial de calentamiento global                                             |
| °C             | Centígrados                                                                   |
| PNUMA          | Programa de las naciones unidas para el medio ambiente                        |
| OMM            | Organización meteorológica mundial                                            |
| MDL            | Mecanismo de desarrollo limpio                                                |
| IPCC           | Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático                |
| RCE            | Reducciones certificadas de emisiones                                         |
| NAMA           | Acciones de mitigación apropiadas a nivel nacional                            |
| PEMEX          | Petróleos mexicanos                                                           |
| MW             | Mega watts                                                                    |
| Kg             | Kilogramo                                                                     |
| H              | Hora                                                                          |
| GW             | Giga watts                                                                    |
| m <sup>2</sup> | Metro cuadrado                                                                |
| Km             | Kilometro                                                                     |
| K              | Kelvin                                                                        |
| MJ             | Megajoule                                                                     |
| Js             | Joule                                                                         |
| W              | Vatio                                                                         |
| Micrometros    | $\mu m$                                                                       |
| Gsc            | Constante solar                                                               |
| Uv             | Ultravioleta                                                                  |
| Vis            | Radiación visible                                                             |
| $\beta$        | Inclinación                                                                   |
| $\theta$       | Coseno                                                                        |
| $\delta$       | Seno                                                                          |
| $\phi$         | Latitud del lugar                                                             |
| $\theta_{zs}$  | Angulo zenital                                                                |
| $\gamma_s$     | Altura solar                                                                  |
| $\psi_s$       | Ángulo azimutal                                                               |
| DC             | Corriente directa                                                             |
| AC             | Corriente alterna                                                             |
| V              | Volts                                                                         |
| CIGS           | Copper indium gallium selenide                                                |
| CdTe           | Cadmium telluride                                                             |
| I              | Corriente                                                                     |
| Gt             | Gigatoneladas                                                                 |
| LTE            | Ley de transición energética                                                  |
| CNH            | Comisión nacional de hidrocarburos                                            |
| CRE            | Comisión reguladora de energía                                                |
| LOAPF          | Ley orgánica de la administración pública federal                             |
| INEL           | Inventario nacional de las energías limpias                                   |
| ENREL          | Energías renovables en línea                                                  |
| AZEL           | Atlas de zonas con alto potencial de energías limpias                         |
| SEN            | Sistema eléctrico nacional                                                    |
| PIIRCE         | Programa indicativo para la instalación y retiro de centrales eléctricas      |
| PAMRGD         | Programa de ampliación y modernización de las redes generales de distribución |

## **GLOSARIO**

|           |                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| PAMRNT    | Programa de ampliación y modernización de la red nacional de transmisión  |
| PRODESEN  | Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional                     |
| SENER     | Secretaría de energía                                                     |
| CELs      | Certificado de energías limpias                                           |
| INDC      | Contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional                  |
| LIE       | Ley de la industria eléctrica                                             |
| LTE       | Ley de transición energética                                              |
| CENACE    | Centro nacional de control de energía                                     |
| CFE       | Comisión federal de electricidad                                          |
| BID       | Banco interamericano de desarrollo                                        |
| Bancomext | Banco nacional de comercio exterior                                       |
| PEACC     | Programas estatales de acción ante el cambio climático                    |
| ENCC      | Estrategia nacional de cambio climático                                   |
| PND       | Plan nacional de desarrollo                                               |
| LGCC      | Ley general de cambio climático                                           |
| INECC     | Instituto nacional de ecología y cambio climático                         |
| CMMAD     | Comisión mundial del medio ambiente y del desarrollo                      |
| SIG       | Sistemas de información geográfica                                        |
| SMS       | Servicio de mensajes cortos                                               |
| GSM       | Sistema global para comunicaciones móviles                                |
| FAO       | Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación |
| MIA       | Manifestación de impacto ambiental                                        |
| EVIS      | Evaluación de impacto social                                              |
| Wp        | Vatios pico                                                               |
| Ah        | Amperios hora                                                             |
| ONUDI     | Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial         |
| AECID     | Agencia española de cooperación internacional para el desarrollo          |
| GEF       | Fondo para el medio ambiente mundial                                      |
| ONG       | Organizaciones no gubernamentales                                         |
| MDL       | Mecanismo de Desarrollo Limpio                                            |

# **CAPÍTULO I**

## **PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**

## 1.1 RESUMEN

A lo largo de la existencia humana, la demanda mundial de energía ha seguido aumentando con el crecimiento de la población, lo que ha llevado a una competencia excesiva para suministrar energía de forma rápida y económica, lo que ha llevado al uso inapropiado de combustibles fósiles [58]. En la actualidad, el interés internacional de generar formas alternativas de acceder a energía sostenible y amigable con el medio ambiente es particularmente importante, ya que existen otras formas de acceder a los recursos, satisfacer la demanda y generar la misma energía sin una dependencia absoluta de los combustibles fósiles. Si bien se han desarrollado lineamientos estandarizados para este fin, como acuerdos y tratados sobre el tema, se han observado diversos grados de avance, esto se debe a una serie de variables específicas del país que son clave para la transición energética, como la economía, el progreso tecnológico de un país y sus políticas públicas.

Según múltiples expertos, el principio de sostenibilidad se relaciona con la integridad ecológica, la calidad de vida y la transformación o trascendencia específica del sitio. Es un delicado equilibrio entre crecimiento económico, medio ambiente y progreso social para una comunidad, que puede ser un país o todo nuestro planeta. Se mide con indicadores económicos, sociales y ambientales. El concepto surgió por primera vez en la década de los años 70's, pero se posicionó en el escenario mundial en 1987 en la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) según múltiples expertos, el principio de sostenibilidad se relaciona con la integridad ecológica, la calidad de vida y la transformación específica del sitio. "El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" se definió en el Informe Brundtland de 1987 [54].

La presente investigación “Sustentabilidad energética: Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en zonas rurales” tiene la finalidad de generar conocimiento que permita mejorar el aprovechamiento de la energía solar en zonas rurales, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático mediante el uso de una fuente de energía limpia y renovable.

**Palabras clave:** Energía solar, Energías renovables, Calentamiento global, Alternativa eléctrica.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A lo largo de los años se ha generado energía eléctrica con combustibles fósiles las cuales son de muy alto costo y en ocasiones de muy alto riesgo, además de ser recursos finitos que, indudablemente, van a agotarse; aquí nace su denominación como recursos no renovables y como tales, al ser más escasos con el paso del tiempo se harán cada vez más y más caros. En la actualidad existen otras alternativas para generar electricidad por medio de recursos renovables, los que se definen como formas de energía limpia y que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de existencia de la raza humana en el planeta, y cuyo aprovechamiento es técnicamente viable.

Dentro de estos tipos de energía se encuentran la energía solar; que se caracteriza por ser una energía viable debido a que es un recurso infinito, no contaminante y no posee un alto costo.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este proyecto es generar conocimiento que permita mejorar el aprovechamiento de la energía solar en zonas rurales, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático mediante el uso de una fuente de energía limpia y renovable.

### **1.3.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Dar a conocer la importancia que tienen las energías renovables en la actualidad.
- Analizar los beneficios económicos, sociales y ambientales que la implementación de la energía solar fotovoltaica puede generar en las zonas rurales.
- Conocer los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales de la generación, de energía solar.
- Conocer el potencial de las energías renovables en México
- Conocer las principales aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.
- Conocer el potencial y aprovechamiento en zonas rurales.
- Promover el uso de la energía solar fotovoltaica en zonas rurales para impulsar su desarrollo socioeconómico.

- Identificar las barreras y desafíos para la implementación efectiva de la energía solar fotovoltaica en zonas rurales.
- Dar a conocer casos de éxito de proyectos de energía solar fotovoltaica en zonas rurales, tanto a nivel nacional como internacional.

#### **1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Qué es y cómo funciona la energía solar?
- ¿Cuáles son los beneficios al instalar la energía fotovoltaica?
- ¿Qué beneficios ambientales, económicos y sociales tiene el uso de la energía solar en zonas rurales?
- ¿Qué estrategias y políticas se pueden implementar para fomentar el desarrollo y la difusión de la energía solar?
- ¿Cuál es la energía que menos impacto negativo tiene sobre el medioambiente?
- ¿Existe relación entre el aprovechamiento de la energía solar y el beneficio económico para la sociedad?
- ¿Qué estrategias se han utilizado para garantizar el mantenimiento y la durabilidad de los sistemas fotovoltaicos en zonas rurales?
- ¿Qué tipo de actividades productivas y emprendimientos se podrían impulsar en las zonas rurales con acceso a energía solar?
- ¿Cuáles son algunos de los desafíos en la implementación de soluciones de energía solar en zonas rurales?
- ¿Existen proyectos solares fotovoltaicos en zonas rurales en México?

#### **1.5 MARCO CONTEXTUAL**

En este trabajo nos informaremos sobre que es la energía solar, sus funciones, implicaciones y utilidades.

Por lógica y naturaleza podemos saber que el sol es uno de las principales fuentes que permite a todos los seres humanos poder vivir, pues del recibimos la energía que puede ser trabajada y utilizada para variedad de cosas; como es notable la podemos tomar gratuitamente. Esta energía que se produce por la combustión del sol es transformable a energía eléctrica y es utilizable para cualquier tipo de trabajo que requiera esta última energía.

El Sol, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta.

## **1.6 DELIMITACIÓN DEL TEMA**

Debido a que el manejo de la energía solar no es muy común hoy en día en los procesos de administración de energía masiva, esta investigación se centrará más hacia el ámbito de crear conciencia, así como su beneficio ambiental que representa.

## **1.7 HIPÓTESIS**

La participación en las políticas públicas ha permitido un avance significativo en el uso de las fuentes renovables de energía y su implementación práctica para la sociedad mexicana y las instituciones energéticas”.[16]

Se logrará un avance cultural y social significativo en la preservación del medio ambiente al alentar a los ciudadanos a utilizar las fuentes de energía renovables que nuestro clima y medio ambiente pueden brindar, especialmente a medida que más y más personas toman conciencia de los problemas que el uso de las fuentes de energía no renovables como el petróleo y el gas natural está provocando el cambio climático, los cuáles son uno de los principales causantes de los gases que están provocando el efecto invernadero sobre la capa de ozono , y que, con la ayuda de las recientes y cada vez más potentes emanaciones solares , están calentando nuestro planeta a un ritmo increíble, los largos inviernos en nuestro país.

Además, el tema económico es de suma importancia para los municipios, los estados y el país en su conjunto, ya que hacerlo tiene tanto los beneficios antes mencionados como beneficios económicos adicionales.

## **1.8 JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto se lleva a cabo debido a que existe una opción de generar energía limpia a través de energía renovable, las mismas que contribuyen a reducir el calentamiento global.

La importancia de este proyecto se basa en que nos ayuda a entender las ventajas de la energía solar y sus implicaciones con respecto a lo social y económico. Todo esto tiene la intención de demostrar que no se necesita deteriorar la naturaleza para obtener energía, sino por el contrario, debemos tener proyectos que aprovechen los recursos renovables.

Como todos sabemos el calentamiento global es un tema actual y algunos países alrededor del mundo están comenzando a cambiar sus métodos y estándares de

producción en un intento de reducir el impacto de sus industrias en el medio ambiente, así mismo están buscando alternativas a la producción de energía renovable, ya es sabido que hay un gran problema en torno a la liberación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por la quema de estos combustibles producidos por los medios de transporte, los electrodomésticos y las industrias.

Por esta razón, para satisfacer todas nuestras necesidades, debemos hacer un uso más eficiente de la energía solar.

Los sistemas de energía fotovoltaica se han establecido como la alternativa más destacada en energías renovables para la generación de electricidad. La colocación de paneles solares se ha vuelto más común, ya que representan una opción factible debido a la durabilidad de los equipos y a la reducción de sus costos a lo largo del tiempo. (Beltrán-Telles & et. All, 2017)[5] mencionan que el papel de la energía solar puede pasar de ser un margen pequeño de contribución como se considera actualmente, a llegar a ser la más importante fuente energética en el año 2050 debido a que tiene el potencial más amplio de las energías disponibles.

La variedad de usos de estos sistemas permite que en áreas remotas, como zonas rurales, se satisfagan necesidades esenciales. En algunas regiones rurales y hogares aislados, llevar electricidad a través de la red convencional puede resultar demasiado caro, lo que significa que no disponen de este servicio. En tales situaciones, la instalación de un generador fotovoltaico resulta muy rentable.[80]

Las aplicaciones de la energía solar en lugares apartados incluyen la difusión de señal para televisión y radio, así como su uso en la agricultura y ganadería para proporcionar energía a granjas, bombear agua para el ganado y el riego, y en el monitoreo forestal para prevenir incendios. En entornos urbanos, los sistemas conectados a la red son cada vez más comunes. Con el aumento continuo de los costos de electricidad, muchos hogares consideran la generación de energía mediante paneles solares como una opción para reducir sus facturas eléctricas. Además, las grandes empresas están optando por instalar estos sistemas debido a los significativos ahorros que generan y a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al uso de combustibles fósiles.

El porcentaje de ahorro que puede obtenerse en un sistema fotovoltaico es de hasta el 100% dependiendo de varios factores como el tipo de aplicación, el espacio necesario para realizar la instalación y la capacidad de inversión.

# **CAPÍTULO II**

## **INTRODUCCIÓN**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

El sol tiene la capacidad de convertir 4 millones de toneladas de hidrógeno en helio por segundo transcurrido, una gran cantidad de energía es liberada en este proceso. Es sabido que el planeta Tierra solamente capta una pequeña fracción de la energía emitida por el sol; la incidencia de los rayos del sol sobre la atmosfera de la tierra es de alrededor de  $5.4 \times 10^{24} \text{ J} = 170$  trillones de kW por año, lo que es aproximadamente 27,000 veces la energía producida por todos los sistemas fabricados por el ser humano.[39]

Hoy en día, existen en el mundo diferentes sistemas que se encargan de la conversión y aprovechamiento de la energía solar, como una alternativa a los métodos usados convencionalmente. La conversión de energía a partir de la irradiación solar, se da a través de sistemas de tipo fotovoltaico y sistemas termosolares principalmente; los cuales operan generalmente fijos y se encuentran orientados hacia una dirección específica, dicha orientación depende de su ubicación geográfica. Esta condición provoca una disminución en la potencia eléctrica del sistema y evidentemente en su rendimiento. Sin embargo, es posible aprovechar el movimiento aparente del sol con respecto a la tierra y operar los sistemas con un modelo de seguimiento solar, basado principalmente en las ecuaciones que describen dicha trayectoria solar; de esta manera se hace un aprovechamiento más eficiente del espectro solar y su capacidad energética.[61]

El aprovechamiento del espectro solar, para conversión de energía, ha cobrado importancia en algunos países, donde la disponibilidad de la energía eléctrica se está convirtiendo en un tema de desarrollo económico y social. Algunos de estos países son: Liechtenstein, Alemania e Italia los cuales se encuentran dentro de los líderes en el aprovechamiento de las energías alternativas.[97]

La energía es el motor de desarrollo de la humanidad como civilización y es la clave de su equilibrio con el entorno natural. La energía es fundamental para el avance económico, social y ambiental de cualquier región o nación. Se sostiene que la falta de acceso a servicios energéticos afecta directamente el desarrollo de los países, bajo la idea de que, a menor acceso a la energía, menor será el progreso de la sociedad.

Por lo tanto, la "pobreza energética" se presenta como un factor crucial para el futuro cercano, haciendo que el control de los gases que se emiten a la atmósfera y otras sustancias sea cada vez más urgente y un tema que necesita atención, dado su vínculo directo con el cambio climático acelerado. Esta situación indica que es necesario mejorar la producción, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica.[71]

En el ámbito regional, el deterioro ambiental exige la implementación de sistemas integrales en las políticas de sostenibilidad, dado que en la próxima década existe el riesgo de causar cambios irreversibles en el entorno natural que sustentan una prosperidad económica sostenible. Actualmente, la participación de energías limpias en México es moderada, aunque se espera que aumente a largo plazo, dependiendo del potencial de diversas regiones del país. En cuanto al desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad en México, es crucial centrarse en elevar los niveles de vida y mejorar el bienestar de la población.

Es innegable que la energía solar es una fuente de energía abundante, no contaminante y se encuentra disponible, en mayor o menor medida, en cualquier parte del planeta, pudiendo ser colectada y transformada en energía térmica o eléctrica en el lugar de utilización. La cual está presente en todos los sectores económicos y sociales, gracias a su gran variedad de aplicaciones, que van desde el alumbrado, calefacción, ventilación, hasta el campo de las telecomunicaciones, tecnologías de la información, procesos industriales, etc.

En el actual escenario energético, se consolida la creciente utilización de la energía eléctrica, frente a fuentes primarias como los combustibles fósiles, las tecnologías de los sistemas de generación eléctrica distribuida, así como los sistemas de generación híbrida activa. Dentro de esta línea de desarrollo técnico, tecnológico y comercial, presenciamos el nacimiento y desarrollo de una disciplina en ingeniería eléctrica en línea con futuras áreas de investigación y nuevas actividades profesionales denominada “generación distribuida”. [44]

## **2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Toda la civilización se ha desarrollado gracias al descubrimiento y control de nuevas fuentes de energía, permitiendo un uso humano cada vez más eficiente y con tecnologías más avanzadas. La energía se define como la capacidad de un sistema para realizar trabajo de manera mecánica o generar calor de forma no mecánica. Esta capacidad se manifiesta de diferentes formas (energía mecánica, energía interna) y se transporta según diferentes mecanismos (electricidad, radiación, calor), pero no se puede crear ni destruir, sólo transformar (Primer principio de la Termodinámica) y se degrada continuamente e irreversiblemente hacia su manifestación de menor calidad: el calor (Segundo principio de la Termodinámica) [35]

Las fuentes de energía son los recursos existentes en la naturaleza de los que la humanidad puede obtener energía para sus actividades. Estas fuentes de energía se denominan renovables cuando se puede recurrir a ellas de forma permanente porque son inagotables: por ejemplo, el sol, el agua o el viento. Por el contrario, las no renovables son aquellas fuentes de energía cuyas reservas son limitadas y, por tanto, pueden agotarse: por ejemplo, el petróleo o el carbón. A medida que las reservas son menores, es más difícil su extracción y aumenta su costo.

En el actual escenario energético, se consolida la creciente utilización de la energía eléctrica, frente a fuentes primarias como los combustibles fósiles, las tecnologías de los sistemas de generación eléctrica distribuida, así como los sistemas de generación híbrida activa.

Las fuentes de energía alternativa se han vuelto una solución viable necesario para prevenir las consecuencias que trae consigo el cambio climático, ya que actualmente se tienen resultados de este fenómeno como los altos niveles de temperatura y lluvias atípicas y es un problema para la mayoría de la población.

La generación de electricidad y el consumo de combustibles para el transporte son las principales fuentes de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Tradicionalmente, los combustibles fósiles, como carbón y petróleo se han utilizado en estos sistemas.[59]

Por ello la necesidad de desarrollar e instrumental proyectos, tales como la energía eléctrica a través de fuentes renovables resultando como objetivo las tareas del reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en específico de sectores estratégicos en los que existen beneficios importantes como la eficiencia energética la competitividad industrial y el cuidado del medio ambiente.

El cambio climático es un fenómeno indiscutible, y su reversión solo puede lograrse mediante acciones globales, coordinadas y decisivas. A la cabeza de este importante reto, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) organiza anualmente una Conferencia de las Partes (COP), a la que asisten cerca de 200 países, representando la mayor iniciativa global para reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y combatir el calentamiento global.

En 2007, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó un informe alarmante que advertía que, si se mantenía el ritmo actual de crecimiento, la temperatura del planeta podría aumentar 6 °C para finales del siglo XXI.[55] En 2009, la Agencia Internacional de Energía presentó diferentes escenarios y

estrategias de mitigación por país, con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura a 2 °C.[49] Así, los objetivos prioritarios incluyen la seguridad del suministro, la competitividad y la sostenibilidad, promoviendo el uso de energías renovables en los sectores eléctrico y energético, para cumplir con el Protocolo de Kioto de la CMNUCC.

## 2.3 CAMBIO CLIMÁTICO

Es importante comprender que el cambio climático en la actualidad es un cambio climático antropogénico (provocado por el hombre). Esto significa que la causa del calentamiento global viene de las actividades humanas. En los últimos años, las temperaturas globales han aumentado veinte veces más rápido que los patrones históricos. En concreto, la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) durante varios siglos está elevando la temperatura de la atmósfera y el océano.

Esta concentración de contaminantes y el aumento en la temperatura no solo son perjudiciales para nuestra salud, sino que también tiene impactos graves en la biosfera, su ecología y biodiversidad. Entre otros, estos cambios acidifican el océano, hacen que los ecosistemas se desplacen y reducen la complejidad ecosistémica; lo que hace a nuestro planeta más vulnerable a eventos futuros.

El cambio climático es uno de los problemas más apremiantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. Este fenómeno global se manifiesta a través del aumento gradual de las temperaturas, el derretimiento de los glaciares y la subida del nivel del mar. La humanidad ha experimentado cambios en el clima antes, pero el actual proceso se encuentra impulsado principalmente por las acciones humanas.[56]

Las causas del cambio climático son variadas, aunque se podrían resumir en dos grandes categorías: naturales y antropogénicas. Entre las causas naturales, destacan las variaciones en la actividad solar y las erupciones volcánicas. Sin embargo, en los últimos dos siglos, la actividad humana ha sido el principal factor desencadenante del cambio climático. La quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, la deforestación, y la industrialización han generado un aumento sustancial en la emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>), lo que ha provocado un aumento en la temperatura promedio de la Tierra.

Los impactos del cambio climático son numerosos y afectan a múltiples aspectos de nuestras vidas. Los patrones climáticos cambiantes están alterando las temporadas agrícolas y provocando eventos climáticos extremos como huracanes e inundaciones más frecuentes e intensas.[39]

Además, muchos ecosistemas están siendo afectados por estos cambios: especies animales y vegetales se ven amenazadas por la pérdida de hábitats, los arrecifes de coral sufren la decoloración y mueren debido al aumento de la temperatura del agua, y los glaciares están desapareciendo a un ritmo alarmante. Estas tendencias tienen consecuencias económicas y sociales importantes, como la pérdida de biodiversidad, el desplazamiento de comunidades costeras y la creciente escasez de recursos como el agua potable.

Frente a este panorama, es imperativo implementar soluciones efectivas para contrarrestar el cambio climático. Una medida esencial es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables, como la eólica, solar y geotérmica. Además, es fundamental promover prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la silvicultura.

## **2.4 ORIGEN DEL CAMBIO CLIMATICO**

La raíz de la crisis climática se encuentra en la estructura de la atmósfera de la Tierra, que normalmente facilita procesos vitales para nuestro planeta. Está compuesta principalmente por aire seco (el cual está compuesto por nitrógeno (Nitrógeno ( $N_2$ )) en un 78%, Oxígeno ( $O_2$ ) 21% y Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) 1%, entre otros y vapor de agua, con un espesor aproximado de 200 km. Está formada por la troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera, cada una con sus propias funciones físicas [8].

La atmósfera tiene muchas funciones importantes para el planeta y su vida; una función especialmente importante es su capacidad para regular las temperaturas a través de la absorción de radiación infrarroja desde el planeta y retornarla en forma de calor a través del efecto invernadero. Esto se logra por medio del Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Metano ( $CH_4$ ), Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) y Ozono ( $O_3$ ) [55]. Principalmente, para después ser reflejados en forma de calor hacia la superficie terrestre, provocando así el calentamiento de ésta y de la sección inferior de la atmósfera.

Tabla 2.1 Gases de Efecto Invernadero [20]

| Gas                            | Principales Fuentes                                                                                                                   | Concentraciones Preindustriales | Concentraciones hasta 1999 | Potencial de calentamiento de calentamiento Atmosférico a) (Años) |     |     | Tasas Recientes de Variación de la Concentración (Durante 1980 y Vida Atmosférica (años) |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                                                                                                       |                                 |                            |                                                                   |     |     |                                                                                          |
| Dióxido de carbono             | Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios en uso de suelo tropical.                                               | 280 ppmv (1)                    | 367 ppmv                   | 1                                                                 | 1   | 1   | 3.3 ± 0.1 PgC/año (3)                                                                    |
| Metano CH <sub>4</sub>         | Cultivo de arroz bajo agua, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, producción y consumo de combustibles fósiles.      | 700 ppbv (2)                    | 1745 ppbv                  | 62                                                                | 23  | 7   | 600 Tg/año (4)                                                                           |
| Óxido nítrico N <sub>2</sub> O | Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, procesos industriales (producción de ácido adípico y ácido nítrico). | 275 ppbv                        | 314 ppbv                   | 275                                                               | 296 | 156 | 16.4 TgN/año                                                                             |
|                                |                                                                                                                                       |                                 |                            |                                                                   |     |     | 114                                                                                      |

(1) partes por millón de volumen.

(2) partes por mil millones de volumen.

(3) Petagramos de Carbono por año.

(4) Teragramos por año

El potencial de calentamiento global mide la relevancia de los gases de efecto invernadero en comparación con el CO<sub>2</sub> durante un período específico. Esto se debe a que los diferentes gases tienen tiempos de permanencia en la atmósfera distintos, lo que significa que su potencial de calentamiento depende de su capacidad para absorber radiación infrarroja y de su duración en la atmósfera. Por ejemplo, en un período de 20 años, el metano puede atrapar 62 veces más radiación infrarroja que el CO<sub>2</sub>.

Al fenómeno descrito anteriormente, se le llama efecto invernadero (ver figura 2.1) y es el que impide que la Tierra presente temperaturas extremas. [17][20]

Otra de las funciones de la atmósfera es la filtración de las radiaciones solares las que, según su tipo, son detenidas a través de las distintas capas atmosféricas y, con ello, se filtra la cantidad de energía adecuada para permitir la existencia de los seres vivos de la Tierra.



Figura 2.1 Gases de efecto invernadero[44]

## 2.4 GASES DE EFECTO INVERNADERO

La atmósfera de la Tierra está formada por muchos gases. Los más frecuentes son el nitrógeno y el oxígeno. La centésima parte restante o menos, se denominan "gases de invernadero". No los podemos ver ni oler, pero están ahí. Entre los gases de efecto invernadero se encuentran el dióxido de carbono, el metano y el óxido de nitrógeno. En concentraciones bajas, estos gases son esenciales para nuestra supervivencia. Cuando la luz solar llega a la Tierra, una fracción de esa energía se refleja en las nubes, mientras que el resto atraviesa la atmósfera y alcanza el suelo. Esta energía permite, por ejemplo, el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, no toda la energía solar se utiliza en la Tierra; parte de ella se "devuelve" al espacio. Dado que la Tierra es considerablemente más fría que el Sol, no puede emitir la energía en forma de luz y calor. Por eso la envía de una manera diferente, llamada "infrarroja".

Los gases de efecto invernadero capturan la energía infrarroja de manera similar a una esponja, elevando la temperatura de la superficie terrestre y del aire circundante. Sin la presencia de estos gases, el planeta sería aproximadamente 30 grados más frío que en

la actualidad. En tales condiciones, es probable que la vida no hubiera podido surgir. Un ejemplo de esto es Marte. En el pasado, la Tierra paso diversos periodos glaciales y hoy día quedan pocas zonas cubiertas de hielo, pero la temperatura mediana actual es solo 4 °C superior a la del último periodo glacial, hace 18000 años.

#### **2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO**

- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Este gas se libera en la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles (como carbón, gas natural y petróleo), residuos sólidos, madera y otros materiales biológicos, así como por ciertas reacciones químicas, como la producción de cemento. Las plantas absorben el dióxido de carbono, eliminándolo de la atmósfera como parte del ciclo del carbono.

**Metano (CH<sub>4</sub>):** El metano se libera durante la extracción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo. También se produce metano en la ganadería, en prácticas agrícolas y por la descomposición de residuos orgánicos en vertederos.

**Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O):** Este gas se emite durante actividades agrícolas e industriales, en la combustión de combustibles fósiles y residuos sólidos, así como en el tratamiento de aguas residuales.

**Gases fluorados:** Incluyen hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y trifluoruro de nitrógeno, que son gases de efecto invernadero sintéticos y altamente potentes, emitidos en diversos procesos industriales. En ocasiones, se utilizan para reemplazar sustancias que dañan la capa de ozono, como los clorofluorocarbonos. Aunque suelen emitirse en cantidades pequeñas, su gran potencia como gases de efecto invernadero les otorga la clasificación de Gases de Alto Potencial de Calentamiento Global (o "Gases de GWP alto").

Es importante comprender que, si bien el clima del planeta cambia de forma natural con el tiempo, se ha descubierto que las temperaturas globales aumentan al menos veinte veces más rápido que los patrones históricos durante las últimas décadas.

Se han realizado estudios para averiguar las causas y factores que contribuyen a este problema, y los expertos han encontrado evidencias de que el cambio climático actual es causado por la actividad humana, principalmente por la quema de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural, lo que emite a la atmósfera Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano [57].

Cuando la revolución industrial liberó la energía que había estado guardada en los combustibles fósiles por millones de años, liberó su carbono también. Estas emisiones fueron pequeñas al inicio, pero a medida que la industrialización se esparció alrededor del mundo, las emisiones han aumentado exponencialmente, tomando en cuenta que se han emitido más entre los 40 años de 1980 y 2020 que entre los 200 años de 1780 y 1980. La concentración de CO<sub>2</sub> en nuestra atmósfera, ha aumentado de 280 partes por millón (ppm) antes de la revolución industrial de 1780, hasta 420 ppm en 2021.[57] En 2019, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> fueron las más altas que de los últimos dos millones de años, y las concentraciones de metano (CH<sub>4</sub>) y Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) fueron las más altas de los últimos 800,000 años [57]

Esto ha causado que el promedio de la temperatura mundial aumente constantemente: Desde 1980 no se tiene un año más frío que el promedio de las décadas de los 1950s y 1980s. Los últimos 6 años (2015-2020) han sido los más calurosos de los que se tiene registro y el año 2020 está empatado con 2016 como el año más caliente registrado. El periodo de 2011 a 2020 tuvo un aumento de entre 0.95 a 1.2 °C con respecto al promedio de temperatura global del entre 1850-1900 [51].

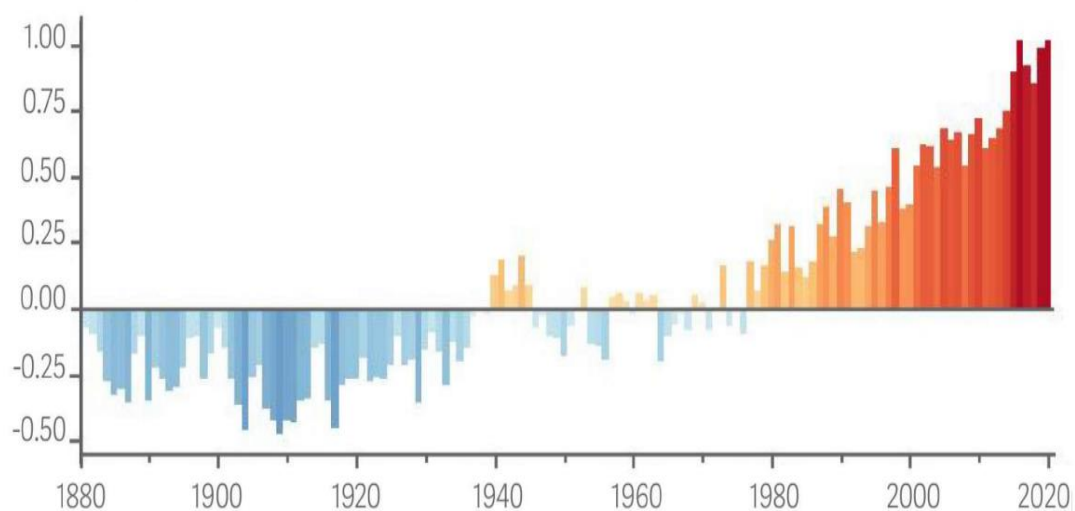
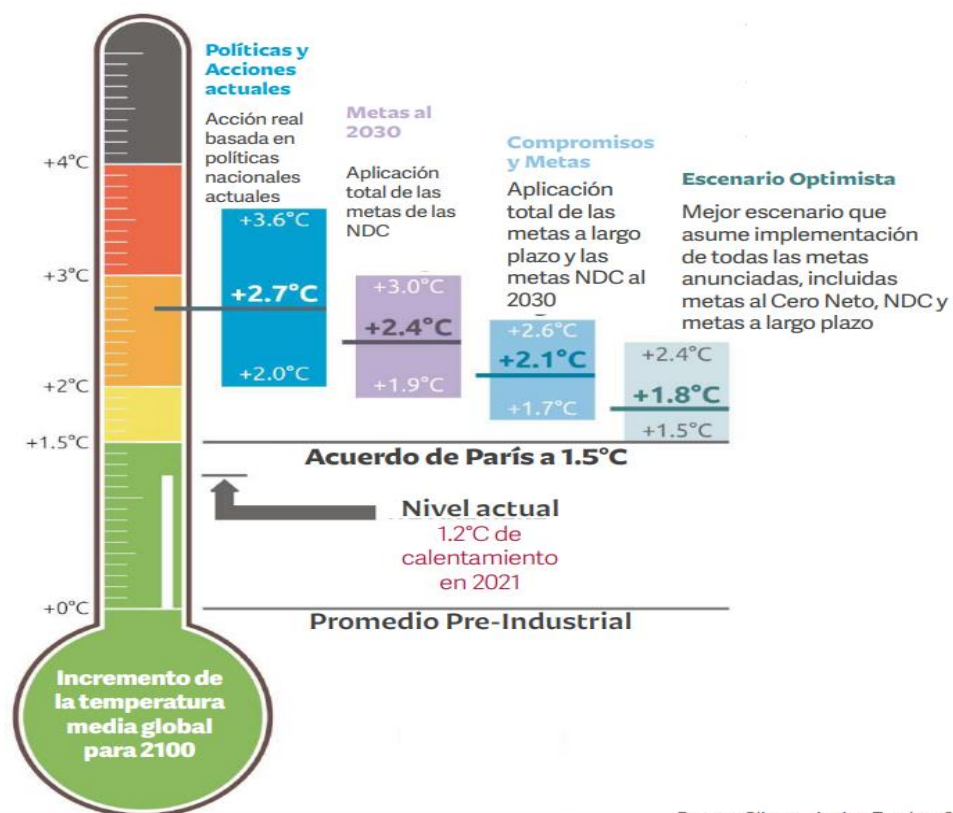


Figura 2.2 Anomalía de la Temperatura Global ( °C comparado con el promedio del periodo de 1951-1980)[62]

## 2.5 ORGANIZACIONES INTERNACIONALES COMO EL PANEL INTERGUBERNAMENTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA ONU (IPCC)

Estas organizaciones modelan escenarios potenciales que podrían seguir las temperaturas en función de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Representan escenarios desde una rápida descarbonización de la economía hasta lo que podría pasar si no se atiende este problema, es decir, si se mantiene el escenario tendencial. La continuación de las tendencias actuales podría generar emisiones que provoquen un calentamiento de 2 °C o más. Enfrentar esta crisis y cumplir con las metas del Acuerdo de París firmado por México en 2015, principalmente para mantener el calentamiento global por debajo de 1.5 °C o 2 °C, requerirá una acción acelerada y ampliada por parte de los gobiernos, las empresas, las sociedades y la fuerza de las personas. Si bien 1 °C o 2 °C no marcan una gran diferencia en la vida cotidiana, debe entenderse que se refiere a las temperaturas globales.



Fuente: Climate Action Tracker, 2021

Figura 2.3 Emisiones de GEI y calentamiento global con los compromisos y acciones actuales.[22]

Según la IEA en su World Energy Outlook 2021 [50], las cuatro prioridades claves en la siguiente década para cerrar la brecha entre las políticas actuales y las necesarias para tener un mundo con un calentamiento menor a 1.5°C son:

- Incrementar la generación de electricidad de fuentes sustentables.
- Realizar el potencial total de la eficiencia energética
- Prevenir fugas de metano de las operaciones de combustibles fósiles
- Potenciar la innovación en el sector de energías limpias.

Las primeras 3 prioridades requieren la aplicación en una escala masiva, de las tecnologías, enfoques, políticas públicas y medidas que son ya probadas y asequibles hoy en día. El impulsar la innovación en energías limpias, especialmente para sectores tradicionalmente complicados, como la industria pesada y el transporte de larga distancia, es esencial para llevar nuevas tecnologías desde las etapas de prototipo hasta la manufactura escalable que disminuirán más sus precios, y, en consecuencia, aumentar el mercado.

## **2.6 ORGANIZACIONES CREADAS A NIVEL INTERNACIONAL PARA LA ELABORACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS Y ACUERDOS ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

Se han creado organizaciones internacionales para desarrollar políticas públicas y acuerdos que abordan los efectos del cambio climático. Estas organizaciones pretenden analizar e identificar las causas de las emisiones de gases de efecto invernadero y sus efectos negativos sobre el medio ambiente, los procesos de producción y la sostenibilidad de la humanidad. La creación de estas organizaciones fue impulsada por la preocupación y el interés en mitigar y adaptarse al fenómeno conocido como cambio climático por parte de las economías desarrolladas y emergentes. En 1992 se adoptó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), a la que siguió la firma del Protocolo de Kioto en 1997[54]. A pesar de estos esfuerzos, el cambio climático sigue siendo uno de los mayores retos medioambientales a los que se enfrenta la humanidad. La preocupación y la reacción mundial ante los efectos del desarrollo económico y la explotación de recursos sobre el clima se hicieron más patentes en 1998, con la

Conferencia de Toronto sobre los Cambios en la Atmósfera. Ese mismo año, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)[55][56]. El IPCC desempeña un papel crucial en la evaluación de la base científica del cambio climático y sus repercusiones. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) celebra anualmente una Conferencia de las Partes (COP) para abordar el cambio climático. Esta conferencia reúne a unos 200 países y es la mayor iniciativa mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el calentamiento global. **El Protocolo de Kioto**, adoptado en 1997, desarrolló compromisos claros de reducción de emisiones para 37 países industrializados. También desarrolló el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que permite a los países con compromisos de reducción de emisiones poner en marcha proyectos en países en desarrollo.[78] En 2007, el IPCC publicó un informe en el que publicaba de que, al ritmo actual de crecimiento, la temperatura del planeta aumentaría 6 °C a finales del siglo XXI. En 2009, la Agencia Internacional de la Energía presentó varios escenarios y estrategias de mitigación por países para limitar el aumento de la temperatura a 2°C en 2100. Los principales objetivos son la seguridad del suministro, la competitividad y la sostenibilidad, con especial atención al fomento del uso de energías renovables en los sectores eléctrico y energético.[55] A pesar de estos esfuerzos, es importante preguntarse si son suficientes para hacer frente a la mayor amenaza global a la que se ha enfrentado la humanidad. A lo largo de los años, se han negociado varias ampliaciones del tratado de la CMNUCC para establecer límites jurídicamente vinculantes a las emisiones de gases de efecto invernadero de los distintos países y definir un mecanismo de aplicación. Estas ampliaciones incluyen el Protocolo de Kioto, adoptado en 1997, que definió unos límites de emisiones para las naciones desarrolladas que debían alcanzarse en 2012.[49] Otra ampliación es el **Acuerdo de París**, adoptado en 2015, en el que todos los países acordaron intensificar los esfuerzos para limitar el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales y financiar la acción climática. El Protocolo de Kioto, firmado en 1997, pretendía comprometer a todos los países firmantes a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Exigía a los países del Anexo I que redujeran sus emisiones totales al menos un 5% por debajo de los niveles de 1990 durante el período de compromiso comprendido entre 2008 y 2012. Para conseguirlo, el protocolo introducirá mecanismos como el comercio de emisiones, la aplicación conjunta el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).[78] El MDL permite a los países industrializados invertir en proyectos que reducen las emisiones o mejoran los sumideros

de carbono en los países en desarrollo y recibir reducciones certificadas de emisiones (RCE) como complemento a sus reducciones nacionales. El MDL tiene el potencial de hacer que los proyectos sean más viables económicamente, ya que las RCE pueden comercializarse en el mercado del carbono. Una RCE equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida.

## **2.7 PROTOCOLO DE KIOTO**

El principal objetivo del protocolo de Kioto es disminuir el cambio climático antropogénico, causado por el aumento forzado del efecto invernadero. Si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual o superior, podrían producirse un mayor calentamiento global y numerosos cambios en el sistema climático mundial en el siglo XXI. El protocolo permite a los países industrializados cumplir sus objetivos mediante el comercio de carbono e incluye mecanismos únicos como el Mecanismo de Desarrollo Limpio y la Aplicación Conjunta.[78] El protocolo no incluye la energía nuclear en los mecanismos financieros de intercambio de tecnología y emisiones, a pesar de que no emite gases de efecto invernadero. Sin embargo, el IPCC recomienda la energía nuclear como tecnología clave para mitigar el calentamiento global, a pesar de la preocupación que suscitan los accidentes, el almacenamiento de residuos y el hecho de que la extracción de uranio alcance su punto máximo. El IPCC también promueve el uso de fuentes de energía alternativas para lograr un desarrollo sostenible y reducir el calentamiento global.

## **2.8 ACUERDO DE PARÍS**

Presentado durante la conferencia COP 21 en diciembre de 2015, refleja el compromiso de los países de todo el mundo para hacer frente a la amenaza del cambio climático. El acuerdo pretende limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2° C, con un objetivo de 1,5° C, para mitigar los efectos del cambio climático, como la subida del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos extremos. También se centra en promover la resiliencia al cambio climático, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar la producción sostenible de alimentos [88]. El acuerdo reconoce las diferentes capacidades y circunstancias de cada nación, teniendo en cuenta su nivel de contaminación y de emisiones de gases de efecto invernadero. La tendencia actual es hacia el uso de fuentes de energía renovables para mitigar el cambio climático. Los principios de la ingeniería, como la optimización de los procesos y el uso eficiente de los recursos, también contribuyen al desarrollo sostenible.

## 2.9 FECHAS RELEVANTES DE LAS (COP) CONFERENCE OF THE PARTIES.

A continuación, se indican algunas fechas relevantes de las (COP)

**COP1 Berlín - 1995:** El cambio climático se presenta como un desafío significativo. Alemania fue el primer país en organizar la Conferencia de las Partes, y aunque no se lograron acuerdos importantes entre los 118 países que asistieron a esta primera COP, su importancia radica en el reconocimiento oficial de la problemática del cambio climático. La COP1 marcó un cambio en la percepción al aceptar que el cambio climático es una realidad y los problemas asociados a él. Esto dio inicio a una transformación social y económica que ha ido evolucionando hasta el presente.[95]

**COP3 en Kioto - 1997:** El importante acuerdo sobre el cambio climático.

En esta conferencia, el número de participantes alcanzó los 169, es decir, 51 países más que en la primera convención celebrada en Berlín dos años antes. El tema del cambio climático comenzaba a tener un impacto significativo, y los estados parecían estar más conscientes de su gravedad. El objetivo fue definir líneas de acción más claras, basadas en los estudios previos.

En la COP3 se aprobó el conocido Protocolo de Kioto, el primer gran acuerdo climático que obligaba legalmente a los países miembros a establecer normativas concretas para frenar las acciones que pudieran perjudicar el cambio climático.

El objetivo era "reducir el total de sus emisiones a un nivel inferior en al menos un 5% respecto a 1990 durante el período de compromiso entre 2008 y 2012". Se dejó un margen para desarrollar herramientas de aplicación y medición, estableciendo una década para modificar las leyes necesarias que resultaran en acciones concretas para alcanzar este objetivo.[95]

**COP 16, Cancún, 2010,** logros principales: Se ratifica el compromiso de movilizar financiamiento adicional, se reconocen oficialmente las propuestas de mitigación tanto de los países desarrollados como en desarrollo, se establece que se creará un registro de NAMAs y se avanza sobre la puesta en marcha del Fondo Verde.[95]

**COP 17, Durban, 2011,** logros principales: Se logra acuerdo para adoptar un segundo período de compromiso del Protocolo de Kioto hasta 2017 o 2020 pero sin Rusia, Japón ni Canadá. Se fortalece el concepto de "NAMA".[95]

**COP 18, Doha, 2012,** logros principales: Se confirma la falta de acuerdos para una solución más decisiva. Se extiende el Protocolo de Kioto hasta 2020, comprometiendo sólo a la Unión Europea, Australia y un grupo de otros países en desarrollo.[95]

**COP 19, Varsovia, 2013**, logros principales: Se llega a un modesto acuerdo que establece una hoja de ruta hacia el 2015. Todos los Estados deberán comunicar sus contribuciones en materia de reducción de gas de efecto invernadero antes de la Conferencia de París, (primer trimestre de 2015.). También se tienen avances en el apoyo a los países más vulnerables al cambio climático.[95]

**COP 20, Lima, 2014**, logros principales: Se adopta la decisión 1/CP20 de la Conferencia de las Partes: “El Llamado de Lima a la Acción Climática”, acuerda reglas básicas sobre las contribuciones nacionales, jerarquiza la adaptación, y contribuye a darle forma a algunos de los aspectos sustantivos del acuerdo que se espera alcanzar en París. El Llamado a la Acción reitera su invitación a cada una de las Partes para que comunique a la Secretaría Ejecutiva de la Convención sus contribuciones nacionales determinadas hacia el primer trimestre del 2015.[95]

En la **COP 21, París 2015**, se logró un consenso entre 195 países para el Acuerdo de París, enfocado en reducir emisiones de carbono y mantener el calentamiento global muy por debajo de 2°C. El acuerdo será vinculante cuando 55 países responsables del 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero lo ratifiquen. Además, se creó la Comisión Mundial sobre Economía y Clima para analizar opciones de crecimiento económico sostenible junto con la lucha contra el cambio climático. El informe "Mejor Crecimiento, Mejor Clima" sugiere aumentar la eficacia de los recursos, invertir en infraestructuras bajas en carbón y estimular la innovación tecnológica en ciudades, uso del suelo y energía para lograr un crecimiento económico bajo en carbono y reducir las emisiones de GEI. [95]

## **2.10 ORGANIZACIONES PARA DESARROLLAR POLÍTICAS PÚBLICAS CLIMÁTICAS**

En México se han creado diversas **organizaciones para desarrollar políticas públicas climáticas** en respuesta a los efectos del cambio climático. Aunque la responsabilidad de los efectos adversos del cambio climático recae en todos los países, las naciones desarrolladas son particularmente responsables, ya que son los principales contribuyentes a este fenómeno. Sin embargo, México, como país en desarrollo, también comparte esta responsabilidad, ya que representa el 1,4% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. México se ha comprometido con los acuerdos internacionales y ha ido fortaleciendo sus capacidades técnicas e institucionales para establecer políticas climáticas sólidas. El país ha firmado y ratificado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 y el Protocolo de Kioto de 1997. México también

promulgó la Ley General de Cambio Climático en 2012 (DOF-2012), lo que lo convierte en el primer país en desarrollo que cuenta con una legislación de este tipo. La ley incluye directrices para promover las energías limpias, un mercado de carbono y el establecimiento de instituciones en varios niveles de gobierno y sectores. Las iniciativas clave incluyen la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Programa Especial de Cambio Climático. México aprobó las reformas energéticas y fiscales a principios de 2016. Estas reflejan el compromiso de México con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el fomento del desarrollo sostenible en el sector energético. Sin embargo, la dependencia de México de los combustibles fósiles para la producción de energía ha suscitado preocupación sobre su compromiso con la reducción de emisiones. La ineficiencia del sector energético mexicano, ejemplificada por el descenso de la producción de PEMEX a pesar de las importantes inversiones realizadas, exige un cambio hacia fuentes de energía renovables para garantizar el crecimiento económico y el desarrollo sostenible del país.[63][64][65]

En este contexto, se gesta una de las acciones más importantes emprendidas por el ejecutivo federal en los últimos años: La Reforma Energética.

# **CAPÍTULO III**

## **ENERGIAS RENOVABLES**

Las energías renovables son las que se producen continuamente, son inagotables a escala humana y se renuevan constantemente, a diferencia de los combustibles fósiles, que tienen un suministro limitado. Incluyen la biomasa, la energía hidroeléctrica, la eólica, la solar, la geotérmica las energías marinas. Estos recursos se consideran renovables porque proceden directa o indirectamente del sol, así como del calor y las fuerzas gravitatorias de la Tierra. Sin embargo, el desarrollo de las energías renovables a gran escala se enfrenta a retos como la disponibilidad limitada debido a la geografía, la variabilidad de los recursos y las dificultades de transporte. Además, los elevados costos y la competencia en el mercado de la electricidad frenan la adopción de las energías renovables.[19]

### **3.1 EVOLUCIÓN ENERGÉTICA**

El desarrollo de la sociedad humana se ha basa en el uso de la energía fósil. Sin embargo, a causa de su uso indiscriminado, se ha generado un deterioro ambiental global.

Antes de la revolución industrial, los sistemas energéticos dependían del aprovechamiento de pequeños flujos energéticos naturales (turbinas eólicas, energía fluvial, etc.), y en el uso de energía animal y humana para cubrir las necesidades energéticas de calor, luz y trabajo mecánico. Las densidades energéticas, es decir, la cantidad de energía utilizable en un área determinada, y la disponibilidad de las fuentes de energía eran limitadas por los factores específicos de localización geográfica.[88]

Desde entonces, dos grandes transiciones les han dado forma a los cambios estructurales en los sistemas energéticos:

a)La primera transición comenzó con una innovación tecnológica radical utilizando carbón como fuente de energía para el motor de vapor. El ciclo de vapor representa la primera conversión de fuentes de energía fósil en trabajo. Permitió que el abastecimiento de energía fuera independiente de la localización geográfica, ya que el carbón podía ser transportado y almacenado; asimismo, permitió densidades energéticas que antes eran factibles solamente en lugares donde hubiera abundancia de energía hidráulica.

Los motores de vapor comenzaron su introducción masiva para bombear agua en las minas de carbón, lo que facilitó el incremento en la producción de éste.

Los motores de vapor móviles a bordo de barcos o de locomotoras permitieron la primera revolución en los sistemas de transporte. Las redes de ferrocarriles se extendieron a los lugares más remotos de la tierra y la navegación cambió su base de veleros a vapores.

A principios del siglo XX el carbón reemplazó a las fuentes de energía tradicionales que no eran de origen fósil y daba satisfacción a casi todas las necesidades de fuentes de energía de las regiones industrializadas.

b) La segunda transición fue la diversificación de tecnologías para el uso final de la energía. La innovación más significativa fue la introducción de la electricidad como fuente de energía que se produce primero en lugares remotos y luego a gran escala a través de intersistemas donde se puede convertir fácilmente en luz, calor o trabajo en el punto de uso.

Se puede observar hoy en día los males que se presentan por efectos de los cambios climáticos, por ejemplo: la desaparición de los glaciares acompañada por sequía en diversas áreas e inundaciones persistentes en otras, y el acceso limitado a la calidad-agua y a tierras fértiles.

### **3.2 ENERGÍA**

La energía se entiende como la capacidad de la materia para generar calor, realizar trabajo en forma de movimiento, producir luz, favorecer el crecimiento biológico, entre otros. Como indica su definición, los diferentes tipos de energía se utilizan para satisfacer diversas necesidades. Existen energías primarias, que son aquellas que se pueden utilizar directamente sin necesidad de transformación, como la energía mecánica producida al caminar un ser humano o un animal. Por otro lado, están las energías secundarias, que requieren una transformación previa antes de su uso, tal como ocurre con la electricidad.

Tiene diversas acepciones y definiciones, en general se relaciona con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento.

La teoría de la relatividad especial establece una equivalencia entre masa y energía por la cual todos los cuerpos, por el hecho de estar formados de materia, contienen energía; Se resume en la fórmula.

$$E = mc^2$$

La energía es una magnitud escalar con el cual se mide el estado de un sistema físico; es decir, la energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas físicos.

Es una representación de un sistema físico con magnitudes escalares, lo cual facilita su manejo y comprensión.[37]

### **3.3 TERMODINÁMICOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA**

Para utilizar la energía, es esencial convertir unas formas de energía en otras. Todas ellas pueden transformarse entre sí siguiendo los principios de la termodinámica:

“La energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma”.

De este modo, la cantidad de energía inicial es igual a la final.

“La energía se degrada continuamente hacia una forma de energía de menor calidad (energía térmica)”.

Estos principios indican que no se puede transformar una forma de energía en otra sin que ocurra una pérdida, que se manifiesta como energía térmica. Por lo tanto, la eficiencia de un sistema energético se define como la relación entre la energía generada y la energía que se le proporciona al sistema.[37]

### **3.4 ELECTRICIDAD**

La electricidad ha sido un motor clave para el desarrollo urbano y está presente en la mayoría de las actividades humanas contemporáneas. Sin embargo, su producción a menudo requiere combustibles fósiles, lo que conlleva la emisión de diversos gases perjudiciales para el medio ambiente.

El aumento en el consumo de electricidad, junto con la evidencia de los altos niveles de contaminación generados en su producción, la convierte en una de las industrias más contaminantes en la actualidad. Por esta razón, se ha enfatizado en múltiples ocasiones que es crucial llevar a cabo una transición energética en la generación de electricidad para alcanzar el objetivo de limitar el calentamiento global. Con esto en mente, el estudio se centrará en la transición energética en la producción de electricidad.

### **3.5 FUENTES TRADICIONALES DE ENERGÍA**

También llamadas fuentes de energía no renovable, incluyen las instalaciones de generación nuclear y todas aquellas que producen electricidad utilizando combustibles fósiles. Por lo general, estas centrales están equipadas con sistemas para capturar y almacenar el CO<sub>2</sub>.

### **3.6 COMBUSTIBLES FÓSILES**

Los combustibles fósiles se refieren a los hidrocarburos, como el petróleo y el gas, así como al carbón. Estos recursos se formaron a partir de materia orgánica de biomasa (plantas, microorganismos, bacterias o algas) que fue enterrada bajo sedimentos durante miles de millones de años en condiciones anaeróbicas que impiden su descomposición. Aunque se conocían los combustibles fósiles desde hace tiempo, su uso se intensificó con la invención de la máquina de vapor para el carbón, y el petróleo ganó popularidad con el desarrollo del motor de combustión interna.

**Carbón:** Es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbono y otros elementos. Hoy en día, se utiliza principalmente para la generación de electricidad a nivel mundial.

**Petróleo:** Es una mezcla de hidrocarburos simples y algunos más complejos, con hasta 40 átomos, junto con elementos como azufre, oxígeno y nitrógeno. Se distingue por su alta densidad energética y su facilidad de transporte y almacenamiento, siendo la materia prima esencial para la industria petroquímica, donde se producen plásticos, cosméticos y tejidos sintéticos, entre otros productos.

**Gas natural:** Es un hidrocarburo que se compone principalmente de metano y está relacionado con el petróleo, compartiendo muchas de sus propiedades energéticas. Sin embargo, es más fácil de almacenar y transportar.

### **3.7 TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES**

De acuerdo con García, Corredor, Calderón y Gómez (2013)[41], cuando se habla de fuentes convencionales con frecuencia se asocia a recursos no renovables. Esto es verdad para los combustibles fósiles y el uranio empleado en la energía nuclear: son recursos naturales que tomaron miles de años en formarse y que son finitos, por ello no pueden regenerarse en un periodo de tiempo racional respecto a la tasa de uso que de ellos hace la humanidad.

Este conjunto incluye las siguientes tecnologías:

Las tecnologías convencionales para la generación de energía comprenden las unidades y plantas que producen electricidad utilizando combustibles fósiles. Este grupo abarca las siguientes tecnologías:

**Ciclo combinado:** En una planta de ciclo combinado que utiliza gas natural para generar electricidad, se emplean dos ciclos termodinámicos (Brayton y Rankine) de manera sucesiva. En este sistema, los gases de escape de la turbina se aprovechan en un sistema de recuperación para generar vapor que impulsa otra turbina, lo que permite un proceso continuo con una eficiencia 1.4 veces superior a la de una planta termoeléctrica convencional.

**Termoeléctrica convencional:** En este tipo de planta, la generación de electricidad se basa en la conversión de agua en vapor que se expande en una turbina, generando un movimiento mecánico que se transforma en electricidad a través de un generador. Estas plantas pueden utilizar diversos combustibles, como carbón, gas natural y combustóleo, y su eficiencia es un 73% inferior a la de un ciclo combinado, además de ser consideradas como fuentes de altas emisiones contaminantes.

**Carboeléctrica:** Esta planta utiliza carbón como su principal fuente de energía, siendo esta la más empleada a nivel mundial. Aunque es similar a una termoeléctrica, requiere un generador más complejo debido a la necesidad de una mayor superficie de transferencia de calor, además de que el carbón necesita ser pulverizado y secado. Tiene costos de producción bajos y una eficiencia mayor que las termoeléctricas, pero también produce un alto nivel de emisiones.

**Lecho fluidizado:** Esta tecnología permite el uso de varios combustibles sólidos, ya sea de manera individual o combinada, como carbón, biomasa, lodos, residuos municipales, residuos agrícolas o coque de petróleo. Su eficiencia es comparable a la de las carboeléctricas y se utiliza para reducir emisiones y aprovechar desechos. Además, su costo es bajo debido a que implica unidades de menor tamaño.

**Turbo gas:** Esta tecnología se utiliza principalmente durante las horas de mayor demanda energética, aunque su eficiencia es baja. Está compuesta por un compresor, una cámara de combustión y una turbina. El proceso comienza con la compresión del gas, seguido de la combustión y el enfriamiento. La energía liberada genera movimiento en la turbina, que se convierte en electricidad mediante un generador. Generalmente, este proceso es el menos eficiente de todos.

Combustión interna: Este método es costoso y es similar a las centrales térmicas, utilizando como combustibles gas natural, gases de petróleo crudo o biogás. Las emisiones promedio de estas plantas limitan su uso a situaciones de emergencia o horas de máxima demanda

A continuación, se presenta una comparación entre las emisiones de los distintos tipos de central convencional.

Como se puede observar a partir de la tabla comparativa, la central que produce menos emisiones es la central de ciclo combinado.[74][75][76]

Tabla 3.1 Comparación de emisiones por central

| Tipo de central    | Cantidad de CO <sub>2</sub> Kg/<br>MWh |
|--------------------|----------------------------------------|
| Ciclo combinado    | 352                                    |
| Termoeléctrica     | 640                                    |
| Carboeléctrica     | 603                                    |
| Turbo gas          | 510                                    |
| Combustión interna | 692                                    |

### 3.8 ENERGÍA NUCLEAR

La energía nuclear es un método que genera vapor al calentar agua mediante un proceso conocido como fisión nuclear. Este proceso implica una reacción en la que el núcleo de un átomo se divide en partes más pequeñas, lo cual frecuentemente libera neutrones y fotones en forma de rayos gamma. En una planta de energía nuclear, el reactor alberga un núcleo de combustible nuclear, principalmente uranio. Cuando los átomos de uranio son impactados por neutrones, se dividen y liberan calor y más neutrones. En condiciones controladas, esos neutrones pueden golpear y dividir otros átomos de uranio.

Por otro lado, la fusión nuclear produce energía mediante reacciones en las que dos núcleos atómicos ligeros se combinan para formar un núcleo más pesado, liberando así una gran cantidad de energía. Cuando estos núcleos ligeros se fusionan, generalmente resultan en un solo núcleo que tiene una masa ligeramente inferior a la suma de las masas originales. [7]

### **3.9 SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO**

Según varios expertos, el principio de sostenibilidad se refiere a la integridad ecológica, de la calidad de vida y de la transformación o la trascendencia en un determinado lugar. Es un delicado equilibrio entre el desarrollo económico, el medio ambiente y el progreso social para la sociedad, que puede ser un país o todo nuestro planeta. Se mide con indicadores económicos, sociales y ambientales.

El término apareció por primera vez en la década de 1970, pero ganó reconocimiento global en 1987 durante la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (ONU) con el Informe Brundtland. En este informe, se definió el desarrollo sostenible como "aquél que satisface las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades". [54]

Uno de los pilares de la política energética en México es la diversificación de las fuentes primarias de energía y de las tecnologías de producción de energía, depender de una sola fuente de energía plantea riesgos muy importantes, como la incertidumbre de lo que pasará con el precio del petróleo. La dependencia de una sola fuente de energía es un problema para México, que tiene una gran necesidad de combustibles fósiles. La política prioritaria del gobierno mexicano es diversificar las fuentes de energía limpia y renovable, utilizando energía solar y eólica. En México requerimos el fortalecimiento de acciones y conductas de sustentabilidad, tanto del consumo como de la producción de energía.[51]

El desarrollo sustentable significa poder subsistir con la naturaleza y usar inteligentemente los recursos naturales que nos rodean y que nos dan bienestar. Para que esto sea posible necesitamos mantener el equilibrio ecológico, evitar la extinción de las especies y la pérdida de sus hábitats. No es suficiente cerrar la llave mientras nos lavamos los dientes, ni reciclar las latas y las botellas, se tiene que decidir lo que se compra y como se usa; las decisiones del consumidor tienen un efecto enorme en las grandes compañías, mucho más de lo que se piensa.

### **3.10 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE**

La creciente demanda de energía debida al desarrollo tecnológico ha llevado a centrarse en los recursos renovables. Esta tendencia implica el desarrollo de tecnologías

para extraer energía de fuentes que son ilimitadas en la naturaleza, como el sol, el viento y el agua. Sin embargo, la utilización de estos recursos requiere un importante desarrollo tecnológico.

A continuación, se describen los recursos renovables, así como algunas de las tecnologías que permiten su explotación.[13]

### **3.11 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA**

La energía hidroeléctrica es un proceso en el cual la fuerza del agua que fluye sobre el sistema se utiliza para girar una turbina la cual está conectada a un generador el cual produce electricidad. La mayoría de la energía hidroeléctrica proviene de la energía potencial del agua estancada que impulsa la turbina y el generador. [38]

Hay tres tipos de centrales hidroeléctricas:

Central hidroeléctrica larga: las cuales tienen salidas de más de 100 MW a más de 10 GW, este tipo de centrales son supervisadas por asociaciones como International Hydropower Association.

Central hidroeléctrica pequeña: tienen una capacidad de hasta 10 MW. Generalmente son construidas para servir a plantas industriales específicas que requieren una cantidad sustancial de electricidad.

Central hidroeléctrica micro: suelen producir hasta 100 kW de poder. Las cuales son para alimentar a una casa, normalmente se combinan con alguna fuente de generación de electricidad, tales como la fotovoltaica.

### **3.12 ENERGÍA EÓLICA**

El origen de que se genere aire se debe a la diferencia de temperatura en la tierra, la cual impulsa un sistema de convección atmosférica que llega a la superficie de la tierra a la estratosfera. El aprovechamiento de este tipo de energía se debe a la conversión directa en energía mecánica a través del giro del eje de la turbina eólica con una cierta potencia.

Un parque eólico consta de un conjunto de aerogeneradores, el cual va a depender de la velocidad del viento, el área que abarcan las aspas y de un coeficiente propio de cada aerogenerador [58]

Este tipo de energía puede ser utilizada en cualquier área que cuente con un caudal grande de viento; sin embargo, se ha demostrado un mejor funcionamiento en áreas remotas. El principio de generación también convierte energía mecánica en electricidad,

en este caso la cantidad de energía recolectada depende del tamaño de la turbina y longitud de sus aspas. La potencia nominal de las turbinas ha tenido un aumento notable, con capacidades offshore que pueden alcanzar hasta los 8MW con un rotor de hasta 164 metros.

### **3.13 ENERGÍA DE LA BIOMASA**

Es un material orgánico que se genera a partir del proceso denominado fotosíntesis vegetal, a través del cual las plantas, las algas, los microorganismos, y animales que utilizan la energía solar y la almacenan la energía como biomasa, para transformar la materia orgánica que se necesitan para su crecimiento y desarrollo. La biomasa es una fuente de energía renovable que se basa en el ciclo del carbono, también puede ser transformada en biocombustibles [7]

La bioenergía es energía renovable derivada de fuentes biológicas, que se utilizará para calor, electricidad o combustible del vehículo. El biocombustible derivado de los materiales vegetales se encuentra entre las tecnologías de energía renovable que crecen más rápidamente.

### **3.14 ENERGÍA GEOTÉRMICA**

La energía geotérmica se genera aprovechando el calor del interior de la Tierra, que se transfiere a través de rocas o piedras calientes mediante los procesos de conducción y convección. En este contexto, se producen interacciones entre el agua subterránea y las rocas, lo que da lugar a sistemas geotérmicos.[26]

Existen tres tipos de centrales de energía geotérmica:

1. Centrales de vapor seco; Centrales de vapor seco: Son las más simples y antiguas. Aprovechan los manantiales y fumarolas donde el vapor geotérmico sale directamente del subsuelo con poca agua. Este vapor se dirige directamente a una turbina para generar electricidad.
2. Centrales de ciclo binario; El término "binario" se refiere a un sistema de doble fluido, donde la salmuera geotérmica caliente se bombea a través de una red de intercambio de calor para transferirle su energía a un fluido de trabajo que impulsa un tren de potencia. Un fluido geotérmico caliente y un fluido de trabajo adecuado con un punto de ebullición mucho menor que el fluido geotérmico pasan a través

de un intercambiador de calor. El fluido de trabajo vaporizado impulsa las turbinas, el fluido de trabajo nunca se emite a la atmósfera

3. Centrales de vapor de destello o flash: hace ascender agua caliente a alta presión a través de pozos y la introducen en depósitos de baja presión. Al disminuir su presión, parte del agua se vaporiza. Este vapor se separa del líquido y se utiliza para accionar una turbina. El agua líquida sobrante y el vapor condensado pueden ser inyectados en los depósitos nuevamente, haciendo el proceso potencialmente sostenible.

### **3.15 ENERGÍA SOLAR**

La energía solar proviene de la radiación solar y se puede aprovechar de diversas formas ya sea utilizando el calor o la radiación en dispositivos ópticos. El uso de la energía solar tiene dos objetivos principales: generar beneficios económicos al reducir el costo del uso de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles y la energía nuclear, al mismo tiempo que se minimizan los daños ambientales causados por esta energía.

La energía solar es de gran beneficio para el ser humano, pero ciertos aspectos de su naturaleza, como la gran dispersión en la superficie de la Tierra y la variabilidad de la radiación solar, han hecho necesario el desarrollo de técnicas que permitan su correcto aprovechamiento.[97]

La radiación solar que recibe una superficie horizontal ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) está sujeta a la latitud, nubosidad, humedad y otros factores geográficos pero su carácter intermitente es el principal problema al que se han tenido que enfrentar los desarrolladores de tecnologías. La preocupación por contar con un sistema de captación de energía solar que facilite su suministro, sin que se vea afectado por la variabilidad de las condiciones climáticas, ha provocado que se diseñen procesos que permitan su implementación, estos procesos pueden resumirse de la siguiente manera:[4]

- Captación y concentración de la energía solar.
- Transformación de la energía para que pueda ser utilizada.
- Almacenamiento.

- Disposición de una fuente energética suplementaria para hacer frente a las deficiencias de energía solar, si es que llegaran a presentarse o si las condiciones no han sido las óptimas para que sea captada.

Para comprender el funcionamiento de la energía solar es necesario conocer las características principales de la fuente energética a partir de la cual se genera: El Sol puede definirse como una gran esfera de gases principalmente hidrógeno (92.1%) y helio (7.8%) con un diámetro aproximado de 1,392,000 km; se encuentra a una distancia aproximada de 150 millones de kilómetros de la Tierra.

La temperatura del Sol está en función de su estructura: la temperatura en el núcleo es de aproximadamente  $10^7$ °K, mientras que en la fotosfera (capa superficial) es de  $6 \times 10^3$  °K.[13]

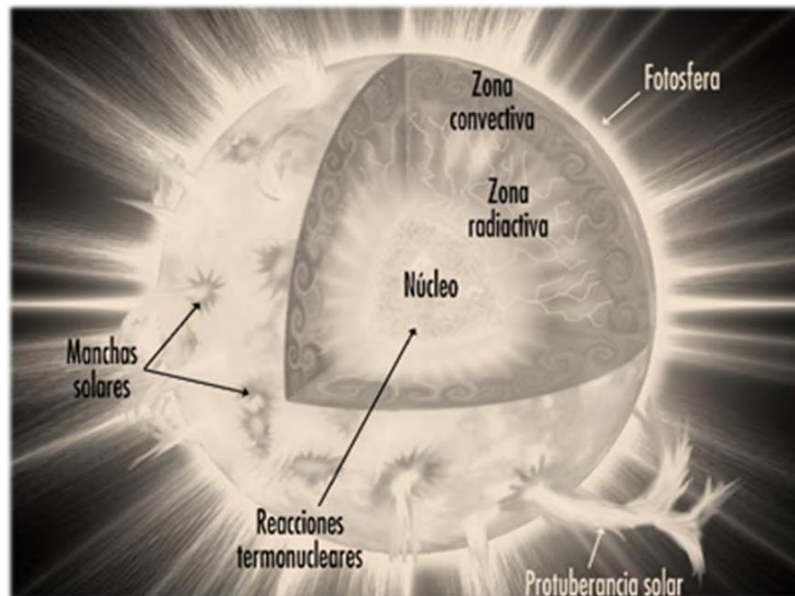


Figura 3.1 Estructura del Sol[28]

Las reacciones químicas que tienen lugar en la estructura interna y externa del sol afectan a los planetas del sistema solar, y la tierra no es una excepción. La radiación solar, un proceso derivado de las reacciones del sol, es el aspecto más importante del uso de la energía solar y por lo tanto debe ser explicado en las siguientes secciones.

### 3.16 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar puede definirse como el flujo de energía proveniente del Sol en forma de ondas electromagnéticas a través de las cuales se transmite la energía solar a la superficie terrestre. Este flujo de energía puede expresarse

en unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo (irradiancia), generalmente en  $\text{Js/m}^2$ , equivalentes a  $\text{W/m}^2$ , o en términos de irradiación, que es la energía solar aportada en un cierto periodo de tiempo y que se expresa en  $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$  o  $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{día}$ , si el periodo es de un día.[91]

Las ondas electromagnéticas que recibimos y que pueden ser percibidas por el ser humano tienen una longitud de onda que va de los  $0.4 [\mu\text{m}]$  a los  $0.7[\mu\text{m}]$ , esto forma parte de lo que se conoce como luz visible. El resto de las ondas electromagnéticas que no podemos percibir forman parte de la radiación infrarroja y ultravioleta del espectro solar.

### 3.17 CONSTANTE Y ESPECTRO SOLAR

La emisión de energía solar que incide sobre la superficie terrestre puede considerarse constante, de ahí nace el concepto de *constante solar*. La constante solar ( $G_{sc}$ ) es el flujo de energía solar que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, a la distancia media del Sol a la Tierra.[27]

La constante solar tiene un valor aproximado de:

$$G_{sc} = 1,353 \text{ W/m}^2 \dots\dots(1)$$

Esta constante solar es muy importante para el cálculo de la radiación que incide sobre la superficie de nuestro planeta. El flujo de energía que llega a la Tierra está en función de la época del año, debido a la variación en la distancia que existe entre nuestro planeta y el Sol. Basado en lo anterior, existe una ecuación que ayuda a determinar la cantidad de energía solar que incide sobre un plano perpendicular a la radiación solar extraterrestre a lo largo del año:

$$G_{on} = G_{sc}(1 + 0.033 \cos \left[ \frac{360n}{365} \right]) \dots(2)$$

donde,  $G_{on}$ , es el flujo de radiación extraterrestre

$n$ , es el número de día del año.

### 3.18 ESPECTRO SOLAR

La radiación solar está estrechamente relacionada con el espectro solar electromagnético. La radiación solar se emite en todo el espectro electromagnético, no obstante, la radiación ultravioleta (UV), la radiación

visible (VIS) y la infrarroja son las más relevantes dentro del aprovechamiento de la energía solar; estos tres tipos de radiación constituyen lo que se denomina radiación térmica.

La emisión de radiación de los cuerpos está determinada por su temperatura, cuanto mayor sea su temperatura ocurre que:

La intensidad de emisión es mayor.

El color o tipo de radiación cambia a una menor longitud de onda.

La línea punteada que puede observarse en la figura 3.2 representa la irradiancia espectral de un cuerpo negro, considerado como un radiador perfecto, que se encuentra a una temperatura cercana a los 6000 K. La temperatura anterior es la que debe tener dicho radiado ideal para tener la misma emisión de energía del Sol. [4]

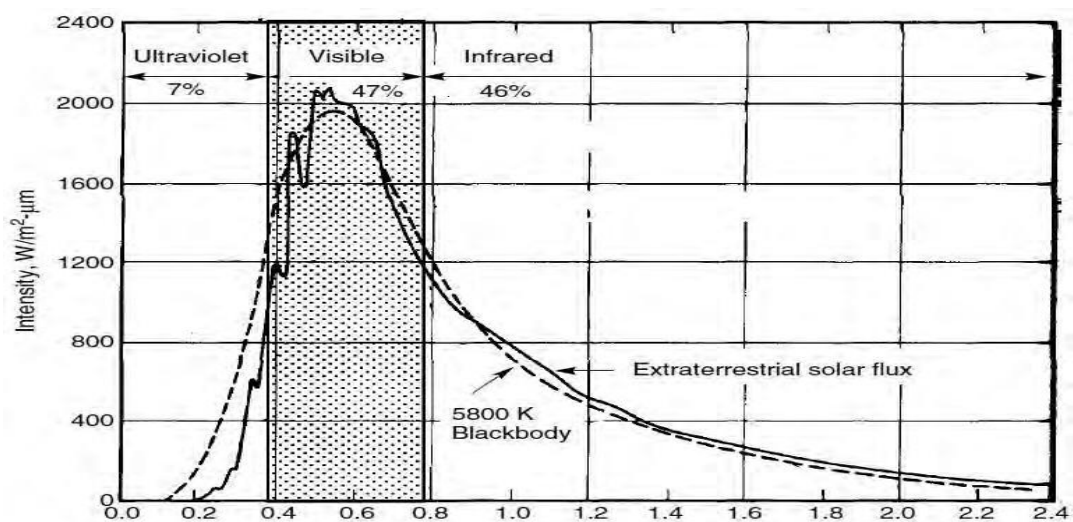


Figura 3.2 Irradiancia espectral del Sol [2]

Hay tres tipos de radiación incidente, como nos muestra en la figura: 3.3

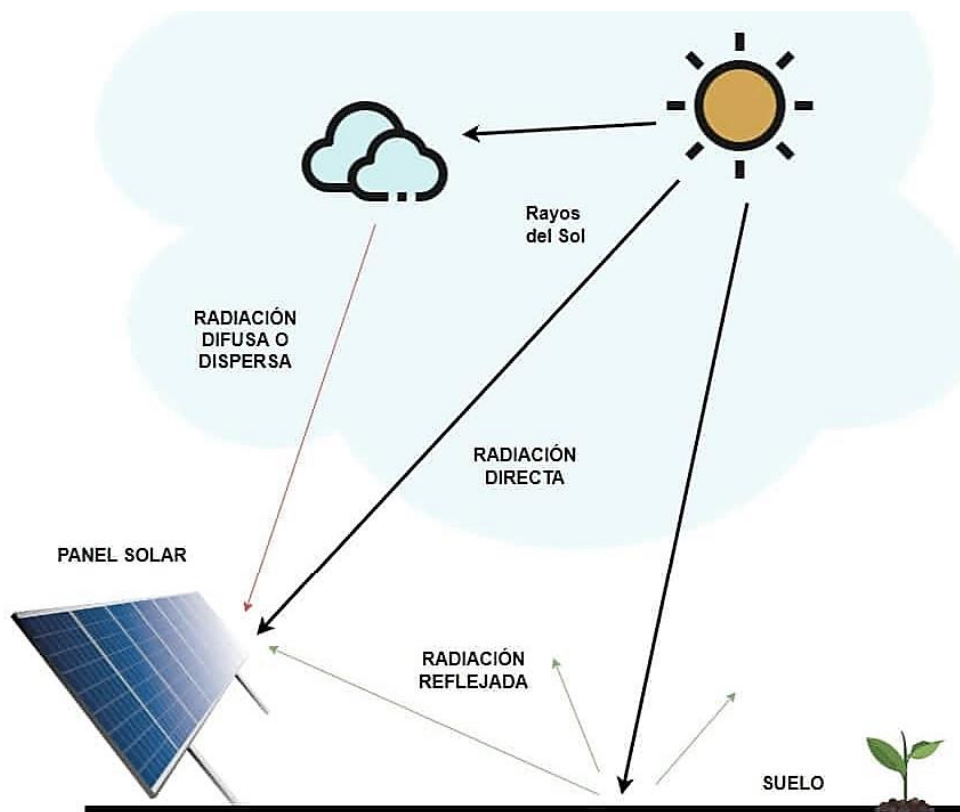


Figura 3.3 Tipos de radiación [84]

Los tipos de radiación, según el fenómeno que experimentan, son los siguientes:

**Radiación directa:** Este tipo de radiación, como su nombre lo indica, es la que proviene directamente del Sol.

**Radiación difusa:** La radiación difusa es aquella que es absorbida y difundida por la atmósfera terrestre. Este tipo de radiación aumenta durante los días nublados ya que la presencia de nubes, y otras partículas, de polvo, por ejemplo, producen efectos de dispersión.

**Radiación reflejada:** Esta radiación es la que refleja la superficie terrestre. La reflexión de la radiación dependerá de las características de la superficie reflectora, que a su vez está determinada por el coeficiente de reflexión también conocido como albedo. Mientras las superficies horizontales reciben una mayor cantidad de la radiación difusa, las superficies verticales son las que, mayoritariamente, reciben la radiación reflejada.

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, como se mencionó anteriormente, está sujeta a diversos factores por lo que su distribución final sobre nuestro planeta es menor que la constante solar pues los rayos solares se debilitan al pasar por la atmósfera. La distribución de la radiación solar sobre la superficie de nuestro planeta se da de la siguiente manera:[88]

Las nubes, el vapor de agua y el dióxido de carbono absorben aproximadamente el 17%.

El 30% se refleja hacia el espacio debido a las nubes, partículas y gases atmosféricos.

Un 53% alcanza el suelo: aproximadamente el 35%, en forma de luz solar directa, formando sombras. El porcentaje restante, llega en forma de luz difusa: al azul del cielo y gris de un día nublado.

Además de los factores que modifican la radiación solar recibida por la superficie de la Tierra, la radiación total también depende de la inclinación de las superficies respecto al plano horizontal y de las características de las superficies reflectantes (albedo).

El grado de inclinación de las superficies influye en el aprovechamiento óptimo del recurso solar: una superficie inclinada disminuye la radiación dispersa y aumenta la radiación reflejada, aspecto de gran relevancia para la instalación de alguna superficie de captación. La latitud de lugar en la que se requiere captar la energía solar juega un papel muy importante dado que una superficie inclinada al sur con un ángulo igual a la latitud tendrá mayor potencial de aprovechamiento de la energíasolar.

### **3.19 RECURSO SOLAR EN MÉXICO**

Para conocer la irradiación global sobre superficies inclinadas es necesario conocer la irradiación global en superficies horizontales, la cual tiene que ser descompuesta en sus componentes de radiación directa y radiación difusa. La irradiación solar dependerá de la estación del año y de la hora solar de determinados lugares.

### 3.20 IRRADIACIÓN GLOBAL

En México, durante el invierno, la zona norte presenta los valores más bajos de radiación (2-2.5 kWh/m<sup>2</sup>). A su vez, la zona sur experimenta valores ligeramente más altos, con valores que van de los 4.5 a los 5 kWh/m<sup>2</sup> en regiones como Guerrero, Oaxaca, Morelos, Puebla y Chiapas. Por otra parte, en el verano la irradiación global en la República Mexicana tiene valores máximos en la región noreste y en la Península de Baja California (7-8 kWh/m<sup>2</sup> día); en el resto de los estados se registran radiaciones de 5-6 kWh/m<sup>2</sup>.

En la primavera, se presenta un aumento general en la radiación de toda la República Mexicana, siendo el noreste la región con los mayores niveles alcanzados (7 kWh/m<sup>2</sup>). En contraste, el otoño es el periodo en el cual se presentan los valores de radiación más bajos a causa de los días nublados y la presencia de lluvias. [91]

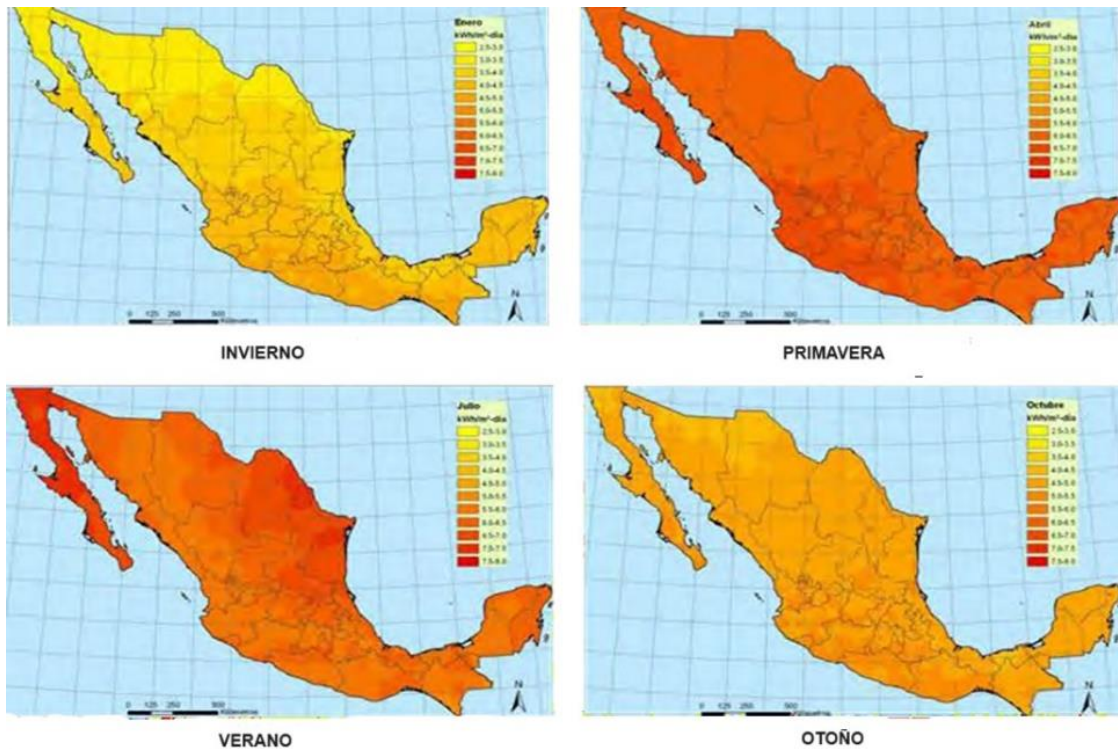


Figura 3.4 Irradiación global por estación del año.[91]

La irradiación global anual que recibe la República Mexicana presenta variaciones diversas a causa de los fenómenos meteorológicos que se presentan a lo largo del año. La región noreste presenta niveles altos de radiación en el año, sin embargo, ésta disminuye durante el verano debido a las nieblas originadas por los cambios que se presentan en los vientos.



Figura 3.5. Irradiación global anual (kWh/m<sup>2</sup> día) [91]

### 3.21 IRRADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y DIFUSA ANUALES

La irradiación directa anual en México presenta los valores más altos en la península de Baja California y en los estados ubicados en la zona central del país (3.5-4 kWh/m<sup>2</sup> día). El resto de las regiones presenta valores más bajos de irradiación que pueden ir de 2.5 a 3 kWh/m<sup>2</sup> día. Por otro lado, la radiación difusa registra valores menores durante todo el año de la región central al norte del territorio (1.5 -1.75 kWh/m<sup>2</sup> día). La región sur alcanza valores ligeramente mayores, por ejemplo, la península de Yucatán puede llegar a alcanzar valores de 1.75 a 2 kWh/m<sup>2</sup> día.[91]

En definitiva, el concepto de radiación solar resulta de suma importancia en el aprovechamiento de la energía solar ya que define la viabilidad de los proyectos a desarrollar en cualquier región. Como ya ha sido mencionado, la energía solar ha ido cobrando importancia en la generación de energía eléctrica pues brinda beneficios económicos, sociales y ambientales, de ahí que deban elegirse los métodos y tecnologías adecuadas para su captación.

En primera instancia, se describe el funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos y los factores que intervienen en su operación con el fin de comprender su importancia y por qué su desarrollo representa una oportunidad de crecimiento para el sector eléctrico en México.

# **CAPÍTULO IV**

## **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

#### 4.1 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La historia de la energía solar fotovoltaica se inicia en la mitad del siglo XIX, cuando los científicos descubrieron por primera vez el efecto fotovoltaico, que permite convertir la luz solar en electricidad mediante materiales especiales conocidos como semiconductores. A comienzos del siglo XX, los investigadores comenzaron a experimentar con el selenio para generar electricidad a partir de la luz. Sin embargo, no fue hasta la mitad del siglo XX que los avances tecnológicos hicieron que la energía solar fotovoltaica se convirtiera en una alternativa viable para suministrar energía a hogares y empresas. [48]

El efecto fotovoltaico fue identificado por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Sus investigaciones sobre el espectro solar, así como sobre magnetismo, electricidad y óptica, sentaron las bases científicas de la energía fotovoltaica. En 1883, el inventor estadounidense Charles Fritts creó la primera celda solar, que tenía una eficiencia del 1%. Esta celda fue fabricada con selenio como semiconductor y una delgada capa de oro. Debido a su alto costo, se utilizó para aplicaciones distintas a la generación de electricidad, como en sensores de luz para cámaras fotográficas. La celda de silicio que se utiliza actualmente se originó a partir de la patente del inventor estadounidense Russell Ohl, quien la construyó en 1940 y la patentó en 1946.[43]

La evolución de la energía fotovoltaica incluye importantes eventos históricos como el descubrimiento del efecto fotovoltaico en el selenio por Willoughby Smith en 1873 y el desarrollo de la primera célula fotovoltaica por William Grylls Adams y Richard Day en 1877. Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico explicando el Efecto fotovoltaico (“for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect”) en 1904.

A mediados del siglo XX, surgió un impulso innovador en el sector tras el desarrollo del transistor y las investigaciones en estado sólido. En 1954, los científicos Daryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson en los Laboratorios Bell desarrollaron la primera célula solar de silicio práctica, alcanzando una eficiencia del 4%. El lanzamiento del primer satélite alimentado por energía solar (el Vanguard I) en 1958, impulsó aún más la adopción de paneles fotovoltaicos en diversas aplicaciones, especialmente en el sector espacial.

En las últimas décadas, la eficiencia de las células solares ha mejorado significativamente, superando el 20% en células comerciales y alcanzando hasta un 40%

en células de laboratorio. Los costos también han disminuido drásticamente, lo que resulta en una mayor adopción de la energía solar a nivel mundial. [39]

#### **4.2 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA?**

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía que transforma directamente la radiación solar en electricidad mediante módulos fotovoltaicos compuestos por células solares o fotopilas. Estas células experimentan el fenómeno denominado efecto fotoeléctrico, el cual provoca una corriente eléctrica en ciertos materiales cuando son iluminados por radiación electromagnética.

Los fotones presentes en la luz solar inciden sobre la célula solar, que los absorbe y transfiere energía a los electrones de sus átomos. Consecuentemente, los electrones se liberan de su posición normal y se convierten en parte de una corriente en un circuito eléctrico. La generación de electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica no sólo requiere células fotovoltaicas para funcionar eficientemente, sino que también necesita incluir otros componentes para maximizar el aprovechamiento energético. El conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan la energía solar y la convierten en electricidad forman lo que se denomina sistemas fotovoltaicos.[58]

#### **4.3 CAPTACION DE LA ENERGIA SOLAR**

En esta sección intentaré explicar o definir de una manera sencilla distintas magnitudes o conceptos que se manejan habitualmente para la captación de la energía solar. Para facilitar la comprensión, resulta útil visualizar cómo el sol describe un arco diario a través del cielo, desde el “orto” hasta el “ocaso”, cuya longitud, elevación y duración en el tiempo son distintas cada día y en cada latitud geográfica del planeta.[60]

**ORTO:** salida del sol o de otro astro por el horizonte.

**OCASO:** El Sol, está en el ocaso cuando, por efecto de la rotación de la Tierra, atraviesa el plano del horizonte y pasa del hemisferio visible al no visible. En el caso del Sol el ocaso determina el fin del día.

#### **4.4 TRAYECTORIAS SOLARES**

La tierra se segmenta en paralelos de latitud como se observa en la Figura 4.1 En el hemisferio Norte se considerará la latitud positiva y varía entre  $0^\pm$  y  $90^\pm$ , en el hemisferio

sur se considera Negativa y varía entre  $0^\pm$  y  $-90^\pm$ . El paralelo de  $0^\pm$  se le llama ecuador terrestre.

El símbolo que se utilizaría para la latitud sería  $\hat{A}$ . La tierra también se divide en meridianos de longitud como se observa en la figura. Se usa como meridiano  $0^\pm$  el que pasa por Greenwich, Inglaterra. Hacia el este y el oeste los meridianos aumentan de  $0^\pm$  a  $180^\pm$ .

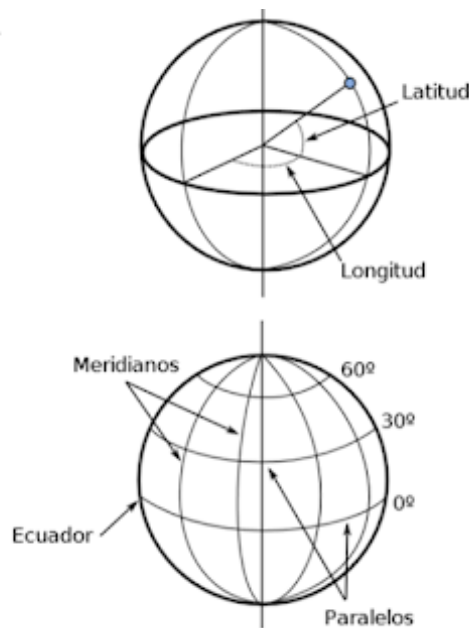


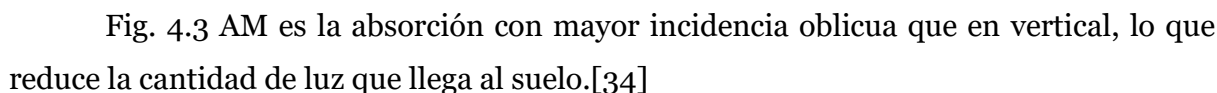
Figura 4.1 Trayectoria solar [9]

El plano fundamental se caracteriza por ser horizontal y, simultáneamente, tangente a la superficie terrestre. La perpendicular a dicho plano, direccionada hacia la semiesfera celeste superior, determina la posición del ZENIT del lugar o zenit local. En contraposición, a través de la Tierra, se ubica el NADIR. Las direcciones principales en el plano horizontal son la Norte-Sur, producto de la intersección con el plano meridiano del lugar; y la Este-Oeste, perpendicular a esta última e intersección con el plano conocido como primer vertical [21]. (Ver la figura 4.2)



Zenit: Es la línea perpendicular al plano horizontal en el punto del observador.

Masa de Aire (AM): Es la razón entre el grosor óptico de la atmosfera que debe atravesar el haz de luz en un momento dado con respecto al grosor óptico si el sol estuviera en el zenit. Por lo anterior,  $m = 1$  cuando el sol está en el zenit Como se muestra en la siguiente figura (4.3).



Para un ángulo zenit dado y una altura local (m.s.n.m) de  $h$ , se cumple que;

$$m(\theta, h) = (\frac{1}{\cos\theta} + 0.15(3.885 + \theta)^{-1.253})e^{-0.0001184h}$$

Inclinación (  $\beta$  ): Ángulo entre plano fotovoltaico y la horizontal

$$0 \leq \beta \leq 180^\circ$$

Latitud del lugar ( $\phi$ ): Es el complemento del ángulo formado por la línea que conecta el zenit y el nadir con el eje polar. Se considera positiva hacia el Norte y negativa hacia el Sur, representando la posición angular en relación al Ecuador, con un rango

$$-90 \leq \lambda \leq 90$$

Meridiano del lugar: Es el círculo máximo en la esfera terrestre que pasa por el lugar en cuestión, así como por el zenit y el nadir.

Angulo zenital ( $\theta_{zs}$ ): Este ángulo se forma entre el vector que une el punto en la Tierra y la vertical del lugar, siendo positivo a partir del zenit.

Altura solar ( $\gamma_s$ ): Es el ángulo que forman los rayos del sol en relación con una superficie horizontal, actuando como el complemento del ángulo de distancia zenital.

Ángulo complementario de la distancia zenital.

Ángulo azimutal ( $\psi_s$ ): Se refiere al ángulo que forma la proyección del sol sobre el plano del horizonte en dirección Sur. Este ángulo es positivo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  hacia el Oeste y negativo de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  hacia el Este.

Declinación: Es la posición angular del sol al mediodía en relación con el plano del Ecuador.

La declinación puede ser descrita por la ecuación, dado en grados. [70]

$$\text{Sen}\delta = 0.3979 * \text{Sen}(\text{Num. de dias} * \frac{360}{365})$$

Se cuentan los días a partir del 21 de marzo, que marca el equinoccio de primavera. Por ejemplo, si tomamos el 21 de marzo como punto de partida, el 15 de enero representará 300 días transcurridos, y al aplicar la fórmula se obtiene:

$$\text{Sen}\delta = 0.3979 * \text{Sen}\left(300 * \frac{360}{365}\right) = -0.3579$$

$$\delta = -20.97^\circ$$

En caso contrario, se puede utilizar la fórmula y contar los días desde el 1 de enero.

$$\delta = 23.45 \text{Sen}\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

Donde n es el día juliano del año, valor numérico calculado a partir del número de días transcurridos desde el día 1 de enero.

Este ángulo se determina utilizando un sistema de referencia ubicado en el centro de la Tierra, con el eje "z" alineado con el eje Norte-Sur del planeta. Debido a la inclinación natural de la Tierra (como se muestra en la figura 4.4), este ángulo tiene el mismo valor tanto en el solsticio de invierno como en el solsticio de verano (en relación con el hemisferio sur), como se puede observar en la figura siguiente.

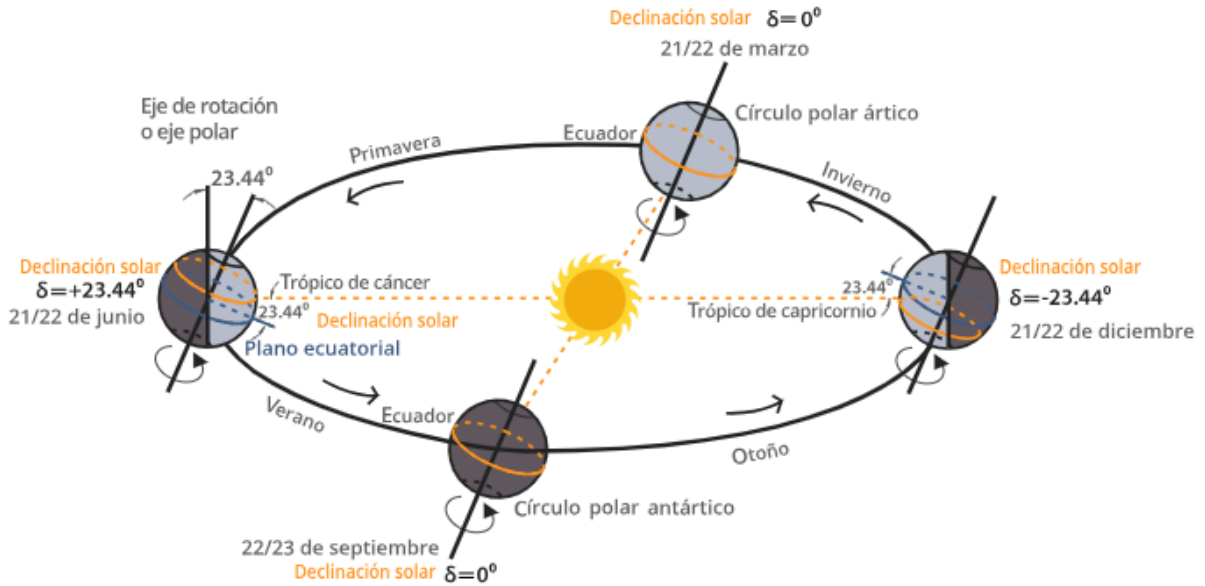


Figura 4.4 Consecuencias de la declinación del eje terrestre [46]

La ecuación que conecta el ángulo de incidencia del rayo de radiación directa con los otros ángulos es:[70]

$$\begin{aligned} \cos(\theta_i) = & \sin\delta * \sin\phi * \cos\beta - \sin\delta * \cos\phi * \sin\beta * \cos\psi + \cos\delta * \cos\phi * \\ & \cos\beta * \cos\omega + \cos\delta * \sin\phi + \cos\delta * \sin\phi * \sin\beta * \cos\psi * \cos\omega + \cos\delta * \sin\beta * \sin\psi * \\ & \sin\omega \end{aligned}$$

Para superficies horizontales,  $\beta = 0^\circ$ , el ángulo de incidencia es igual al ángulo de zenit del sol,  $\theta$ , el cual puede calcularse como:

$$\cos\theta = \cos\delta * \cos\phi * \cos\omega + \sin\delta * \sin\phi$$

El ángulo de azimut del sol ( $\psi_s$ ) puede ser calculado como

$$\sin(\psi_s) = \frac{\cos\delta * \sin\omega}{\sin\theta_z}$$

#### 4.6 EFECTO FOTOVOLTAICO

Las celdas solares transforman la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. La luz está formada por fotones que poseen diferentes niveles de energía. Cuando un fotón con suficiente energía impacta un átomo de un material, como el silicio, el átomo capta esa energía y un electrón se excita, permitiéndole moverse libremente. Si varios electrones logran desplazarse, pueden generar una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones, lo que permite la producción de electricidad a partir de la energía solar.[69]

Para imaginarnos cómo es un átomo supongamos que el núcleo de éste es el Sol y los planetas son los electrones que giran a su alrededor. Para comprender lo que ocurre cuando llega un fotón, pensemos que éste es un cometa. Si el cometa choca con Plutón, a nivel atómico este último adquiriría una energía que le permitiría salir del Sistema Solar.

Para producir el efecto fotovoltaico se utilizan materiales semiconductores, es decir, aquellos que no son buenos conductores de la electricidad, como el cobre y la plata, y que tampoco sean buenos aislantes, como el corcho o la cerámica. Un ejemplo de semiconductor son los materiales que se emplean en los transistores que posee cualquier radio.[69]

En los materiales semiconductores existe una región que separa a la banda de valencia, en la cual los electrones están ligados al núcleo atómico, de la banda de conducción, en la que los electrones pueden circular libremente. Dicha región se denomina banda prohibida.

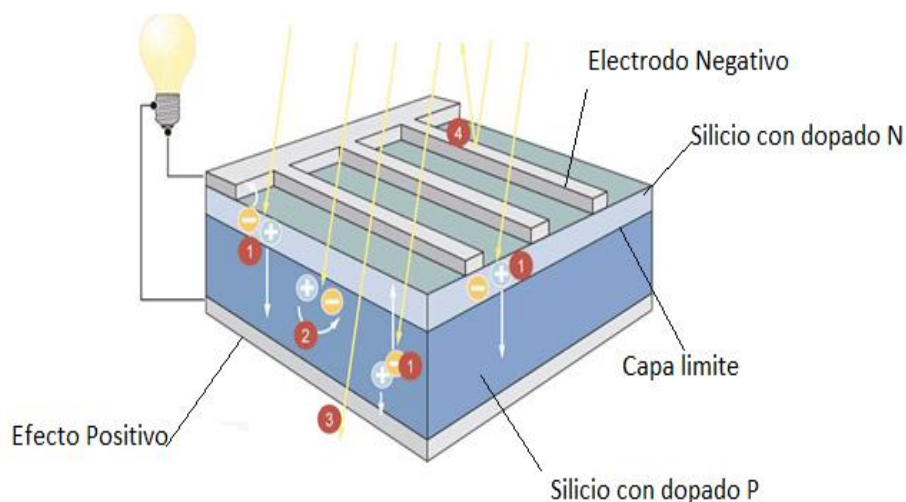
En los materiales aislantes ésta es mayor de 5 eV (electrón-volt) y en los semiconductores, como el silicio es de 1.1 eV. Para lograr la conducción se requiere que los electrones de la banda de valencia pasen a la de conducción, y una forma de lograrlo es que los fotones de los rayos solares proporcionen la energía que se requiere para que los electrones salten la banda prohibida

Si a un material semiconductor se le introduce una pequeña proporción de otro material, lo cual se denomina una impureza, se puede conseguir que se tenga un electrón de más o de menos en la banda prohibida. Si esto ocurre cerca de la banda de conducción, el material se denomina tipo n (por negativo). Y si el electrón de más o de menos está cerca de la banda de valencia, el material se llama tipo p (por positivo).[69]

Al juntar un semiconductor tipo n con uno tipo p, se presenta el efecto fotovoltaico, es decir, habrá un flujo de huecos (falta de electrones) hacia el lado del semiconductor n y uno de electrones hacia el lado del semiconductor p.

Los fotones provenientes del Sol llegan a la celda solar y la radiación absorbida generará electrones en la banda de conducción y huecos en la de valencia. Con ello, se generará una corriente eléctrica del lado positivo al negativo y habrá un voltaje. De esta forma, si se conecta una resistencia entre los dos electrodos (positivo y negativo) se presentará un flujo de corriente.

En resumen, cada celda solar consta de tres capas y dos electrodos (ver Figura 4.5). La capa que recibe la luz solar está diseñada para maximizar la captación de radiación solar por unidad de área, lo que explica que el electrodo negativo esté compuesto de pequeñas tiras de material conductor. Las celdas de unión PN fueron descubiertas en 1954 en los Laboratorios Bell de Estados Unidos, inicialmente utilizadas como fuente de energía para teléfonos rurales y, más tarde, para alimentar satélites artificiales. Aunque el principio de funcionamiento fue identificado por Adams y Day en 1878 con el uso de selenio, Charles Fritts construyó las primeras celdas en 1879.



En la figura 4.5 Diseño y funcionamiento de una célula fotovoltaica de silicio cristalino.[47]

Observamos en (1) la separación de cargas; en (2), la recombinación de parte de ellas, en (3) cómo una parte de la energía luminosa no se utiliza, sino que atraviesa la célula sin producir separación de cargas, en (4) la reflexión y el efecto de sombra causada por los contactos eléctricos de la cara visible de la célula.

## **4.7 PRINCIPIOS BÁSICOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

### **Carga eléctrica**

Es la cantidad de energía eléctrica que se debe proporcionar a un sistema para su funcionamiento.

Está determinada por dos valores, los cuales varían de acuerdo al sistema analizado:

Tipo de carga / Régimen de carga.

Existen tres tipos de carga (consumo): CD (Corriente Directa), CA (Corriente Alterna), Mixta (CD y CA).

### **Régimen de carga**

El régimen de carga está definido por los valores de tres variables: La cantidad de energía que la carga requiere por día. El período del día durante el cual se usará esa energía. El valor máximo (pico) que alcance el consumo.

### **Cantidad**

Es la cantidad de energía, dependiendo del consumo estará medida en Wh/día ó kWh/día, está en función de la cantidad y tipo de aparatos a conectarse; así como del tiempo que permanezcan activos durante el día.

### **Período**

Nos determina la cantidad de energía que debe generarse y en su caso acumularse, depende del período de consumo, el que puede ser:

Diurno. El que no requiere un bloque de acumulación. Nocturno. El que requiere un bloque de acumulación.

Continuo. Día y noche, el que también requiere un bloque de acumulación.

### **Consumo pico**

Se debe analizar el patrón de consumo para determinar si el régimen de carga es constante, o si tiene picos de carga donde varias cargas eléctricas deben ser alimentadas simultáneamente. La cual debe ser satisfecha o el sistema tendrá un déficit energético.

### **CA/CD**

CA significa corriente alterna, y es la que se utiliza normalmente en las instalaciones residenciales.

CD significa corriente directa es la que proviene de las baterías de auto y las celdas solares. Los sistemas de CD requieren un inversor para convertirla a CA que es la que normalmente se utiliza en las instalaciones residenciales

En este trabajo se maneja esta nomenclatura en español de tal manera que se utiliza CA para corriente alterna y CD para corriente directa.[69]

#### 4.8 SISTEMA NOCTURNO

Este sistema está diseñado para soportar carga durante los períodos en que no se tiene luz solar, por lo cual se le provee de un sistema de almacenamiento.

A continuación, se muestran los bloques funcionales que integran este tipo de sistema; así como los componentes de cada bloque funcional.

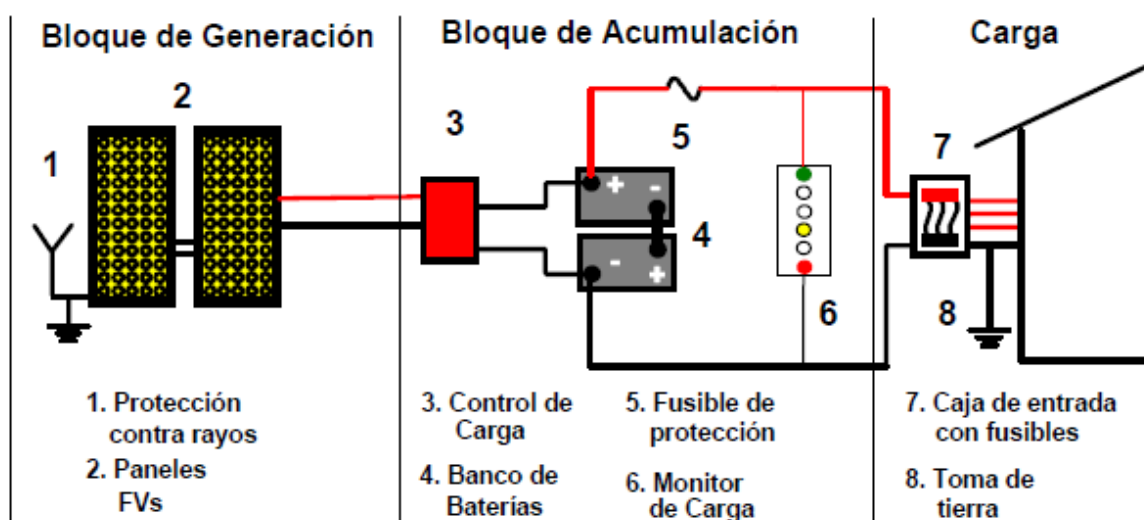


Figura 4.6 Sistema fotovoltaico nocturno[11]

#### Bloque generador

Está formado por los paneles fotovoltaicos. El número de ellos depende de varios factores:

El valor promedio de la insolación. Régimen de carga.

Tipo de carga.

La máxima potencia nominal de salida del panel fotovoltaico.

Los paneles deben tener protección contra rayos. El bloque de generación actúa como un generador de CD, que es el tipo de electricidad que genera un panel fotovoltaico.

## **Pérdidas**

Debido a la transformación de energía solar a electricidad sólo una parte de la energía luminosa se convertirá en energía eléctrica, de la cual sólo una parte será acumulada como energía química en las baterías y de esta una parte podrá ser utilizada en la aplicación final, esta disminución es consecuencia de la transformación de un tipo de energía en otro tipo. Se deberán estimar las pérdidas del sistema y agregarlas a la parte generadora, a fin de no perder el balance entre generación y consumo.[69]

## **Bloque de acumulación**

Se compone de tres elementos:

Control de carga.

Banco de baterías.

Fusible de protección.

Adicionalmente, el monitor de carga puede ser parte del control de carga o añadirse como un componente adicional.

El control de carga utilizado en el sistema nocturno cumple varias funciones:

1. Previene que las baterías se descarguen a través de los paneles durante la noche.
2. Evita que las baterías se sobrecarguen.
3. Asegura un régimen de carga adecuado para el tipo específico de batería.
4. Desconecta el circuito de carga si el voltaje producido por los paneles es menor que el del banco de acumulación.
5. Proporciona funciones adicionales, como el monitoreo del nivel de carga del banco.

Respecto al banco de baterías, se utiliza un tipo específico conocido como batería solar, que se encuentra en versiones de 6 y 12 V. Estas baterías están diseñadas para tolerar descargas profundas a lo largo de múltiples ciclos de carga y descarga.[69]

El sistema incluye un fusible de protección para aumentar la seguridad. Su función principal es evitar cortocircuitos accidentales que podrían provocar la gasificación del electrolito en las baterías, lo que podría llevar a una explosión. Incluso si no ocurre una explosión, tales incidentes pueden reducir considerablemente la vida útil del componente.

## **Bloque de carga**

Son los circuitos de entrada y alimentación dentro de la casa. La caja de fusibles nos permite dividir la carga total en circuitos separados lo cual posibilita el uso de cables de menor calibre, facilitando la instalación y el mantenimiento. También nos ayuda a aislar las fallas o minimizar el impacto de cortes de electricidad por mantenimiento. Como buena práctica y para cumplir la norma es indispensable una conexión a tierra a la entrada de la carga.[69]

## **Cableado**

Es básicos en el sistema un correcto diseño nos permite la reducción de pérdidas por calor. Es importante recordar que el régimen de carga (Watts) está directamente relacionado con la corriente la cual disminuye cuando el voltaje del sistema aumenta. Para instalaciones fotovoltaicas el voltaje más popular es 12 V. Actualmente se tienen la tendencia de 120 V con lo que los sistemas trabajan a voltajes entre 48 V y 500 V en algunos casos. [69]

## **4.9 COMPONENTES PRICIPALES DE UNA P LANTA FOTOVOLTAICA**

Anterior hable de cómo se comporta la trayectoria del sol durante las diferentes épocas del año, por lo que ahora toca hablar de los componentes necesarios para poder lograrlo

### **4.9.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA**

Hace ya más de un siglo Becquerel descubrió a mediados del siglo XIX que la radiación solar puede afectar al comportamiento eléctrico de ciertos materiales, dando lugar, una corriente eléctrica en condiciones específicas. Desde entonces, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre formas eficaces de generar electricidad a partir de la radiación solar. Este dispositivo básico se conoce como célula fotovoltaica o célula solar, y su funcionamiento puede describirse como sigue:

La célula está formada por la unión de dos semiconductores: uno de tipo "n" y otro de tipo "p", lo que genera una diferencia de potencial en esa unión. Los fotones transfieren la energía de la radiación solar a los electrones de los semiconductores, liberándolos de la red cristalina en la que estaban integrados (generación de electrones y huecos).

La diferencia de potencial en la unión provoca un flujo organizado de portadores fotogenerados (electrones y huecos), lo que resulta en una diferencia de potencial neta en

la célula. A través de los contactos dentro de la célula, se puede crear un circuito externo que permite el flujo de corriente eléctrica. Esta corriente puede ser utilizada como energía eléctrica útil, como se ilustra en la figura siguiente. [6]

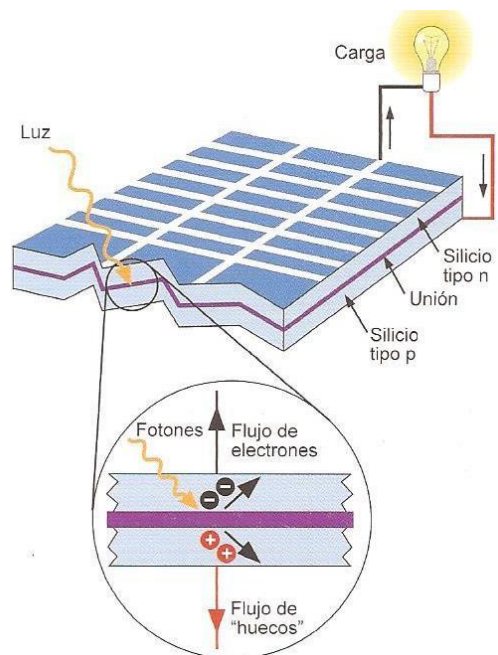


Fig. 4.7 Funcionamiento de una célula solar.[6]

La separación de los portadores fotogenerados es responsable de la diferencia de tensión entre los extremos de la célula fotovoltaica. Sin embargo, estos portadores sólo permanecen "libres" durante un tiempo limitado antes de recombinarse y perder su capacidad de contribuir a una corriente eléctrica. Esta naturaleza dinámica del efecto fotovoltaico significa que es necesaria la presencia continua de portadores fotogenerados para mantener la diferencia de potencial a través de la célula, lo que requiere inevitablemente la presencia de radiación solar incidente, ya que la célula fotovoltaica no es un dispositivo de almacenamiento eléctrico.

Existen dos parámetros que definen el funcionamiento de una célula solar que son:

**Eficiencia cuántica:** es el cociente entre el número de electrones fotogenerados, capaces de generar corriente fotovoltaica, y el número de fotones en ese intervalo de longitud de onda que inciden sobre la célula.

**Respuesta espectral:** se define como el cociente entre la corriente fotovoltaica generada por la célula y la potencia radiante incidente, para un cierto intervalo de longitud de onda de la radiación.

#### 4.10 TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

Se utiliza principalmente en materiales sólidos, especialmente en semiconductores, donde se han logrado eficiencias de conversión de energía luminosa o eléctrica aceptables. Hay diversos materiales semiconductores que se pueden emplear para fabricar celdas solares, pero el más comúnmente utilizado es el silicio en sus distintas formas de producción.

Las celdas solares pueden clasificarse según los materiales semiconductores que las componen y su estructura interna. Algunas de ellas son:[86]

- Silicio cristalino: Es el material más comúnmente utilizado. Tiene una eficiencia promedio del 20-22% y requiere una gran área para generar una buena cantidad de energía.
- Silicio de película delgada: Tiene menor eficiencia que el silicio cristalino (13-17%) pero requiere menor material y por lo tanto es más liviano y flexible.
- Teluro de cadmio: Tiene eficiencias entre el 15-22% pero es un material tóxico por lo que su uso está restringido.
- Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS): Es uno de los materiales más eficientes, entre 20-22%, pero también es caro de producir. Requiere una fracción del área del silicio.
- Telluro de cadmio y telurio (CdTe): Tiene eficiencias entre 16-22% y es más barato que el CIGS. Se usa comercialmente, pero contiene cadmio tóxico.
- Perovskitas: Un material emergente con récord de eficiencia 25.2% en laboratorio. Si mejora la estabilidad podría reemplazar a otros. Necesita más investigación.

En resumen, los materiales más eficientes como CIGS y perovskitas necesitan menor área, pero tienen otros desafíos como el costo o la estabilidad. El silicio cristalino es el estándar actual por su madurez tecnológica y eficiencia aceptable.

En la Tabla 4.1 aparecen algunos materiales con los que están hechas las celdas solares que se fabrican sus eficiencias máximas y el área de captación de cada una de ellas.

Tabla 4.1 Eficiencia y área de los materiales utilizados en las celdas solares.[68][102]

| Material                                 | Eficiencia máxima (%) | Área (cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Silicio cristalino                       | 26,7                  | Alta                    |
| Silicio de película delgada              | 20,4                  | Media-alta              |
| Teluro de cadmio                         | 22,1                  | Media                   |
| Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) | 22,9                  | Media-baja              |
| Teluro de cadmio y telurio (CdTe)        | 22,1                  | Media                   |
| Perovskitas                              | 25,2                  | Muy baja                |

#### 4.11 EL MÓDULO FOTOVOLTAICO (FV)

Es importante recordar que el dispositivo básico de generación de electricidad en los sistemas FV es la célula solar. Sin embargo, en la práctica se utilizan módulos formados por la conexión en serie de un cierto número de células. Por tanto, para el estudio y análisis del comportamiento eléctrico del subsistema de generación, se considerará el módulo FV como la unidad práctica de generación de electricidad.

El circuito eléctrico equivalente de una célula solar puede representarse mediante el siguiente diagrama.

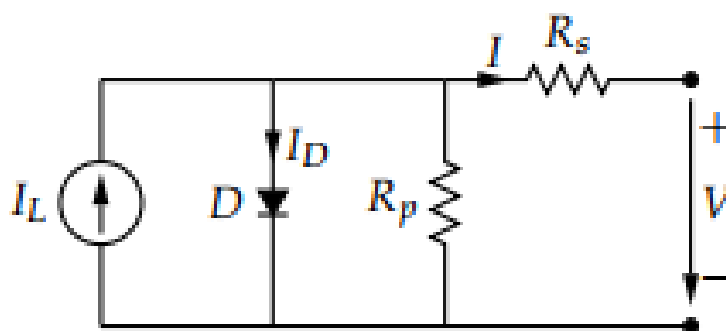


Fig. 4.8 Circuito eléctrico equivalente de una célula solar[70]

Se puede crear un circuito eléctrico combinando un flujo de portadores fotogenerados, un diodo resultante de la unión de semiconductores, una tensión provocada por el efecto fotovoltaico y resistencias que engloben las pérdidas durante el funcionamiento.

Este circuito eléctrico equivalente puede ampliarse a un módulo fotovoltaico formado por  $N_p$  filas en paralelo, cada una con  $N_s$  células en serie, lo que da lugar a la relación tensión-corriente que se muestra a continuación:

$$I = I_{sc} \left[ 1 - \exp \left( \frac{V - v_{oc} + I R_{SG}}{N_s V_T} \right) \right]$$

Siendo:

$I$  = Corriente proporcional por el módulo FV. Es igual a la suministrada por una sola célula, multiplicada por el número de células en paralelo.

$I_{sc}$  = Corriente proporcional por el módulo FV en condiciones de cortocircuito. Se considera, a efectos prácticos, igual a la corriente de portadores fotogeneradores ( $I_L$  en la figura anterior)

$V$  = Tensión existente entre los bornes del módulo FV. Igual a la existente en una célula, multiplicada por el número de células en serie.

$V_{oc}$  = Tensión existente entre los bornes del módulo FV a circuito abierto, es decir, en ausencia de  $I$ .

$V_T$  = Tensión térmica, relacionada con la temperatura del módulo

$R_{SG}$  = Resistencia serie total del módulo FV, igual a  $R_s N_s / N_p$

Como ya se ha mencionado, las características eléctricas de los módulos FV individuales no siempre cumplen los requisitos de tensión y corriente del sistema. Para conseguirlo, se conectan entre sí uniando adecuadamente los terminales positivo y negativo de varios módulos.[70]

Al conectar dos o más módulos en serie, la tensión es igual a la suma de las tensiones individuales de cada módulo, mientras que la corriente permanece constante. En cambio, cuando se conectan en paralelo, la corriente se suma mientras que la tensión permanece constante.

En el párrafo anterior comente los efectos que se consiguen al asociar los módulos en serie y en paralelo, pero los efectos esperados y los conseguidos sólo coinciden cuando todas las células de cada módulo, y todos los módulos, tienen las mismas características eléctricas y funcionan bajo las mismas condiciones de iluminación, temperatura, etc., lo que en la práctica no siempre es así.

En la figura 4.9 se muestra la configuración típica de un módulo de 12 voltios, con 36 células en serie, los problemas pueden surgir cuando el módulo trabaja en cortocircuito, o con corrientes próximas al mismo (tensión baja a la salida).

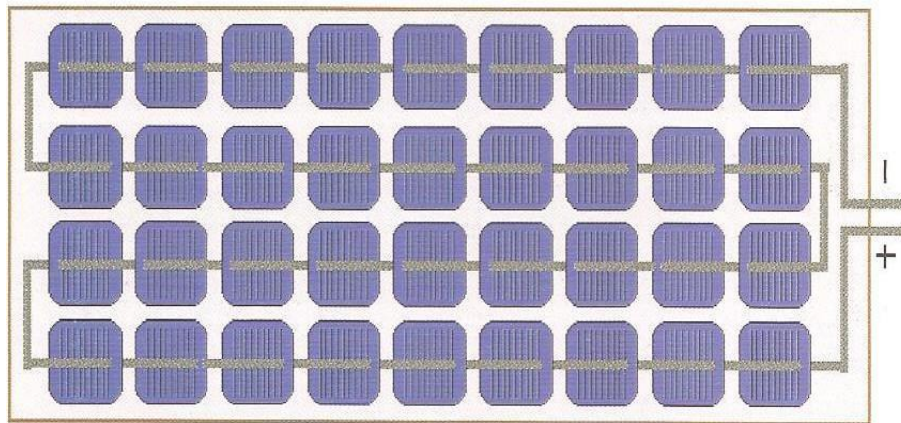


Fig. 4.9 Disposición en serie de las 36 células de un módulo típico de 12 voltios.[14]

Ahora supongamos dos células, una de ellas parcialmente sombreada, conectadas en serie y en cortocircuito, tal como se muestra en la siguiente figura.

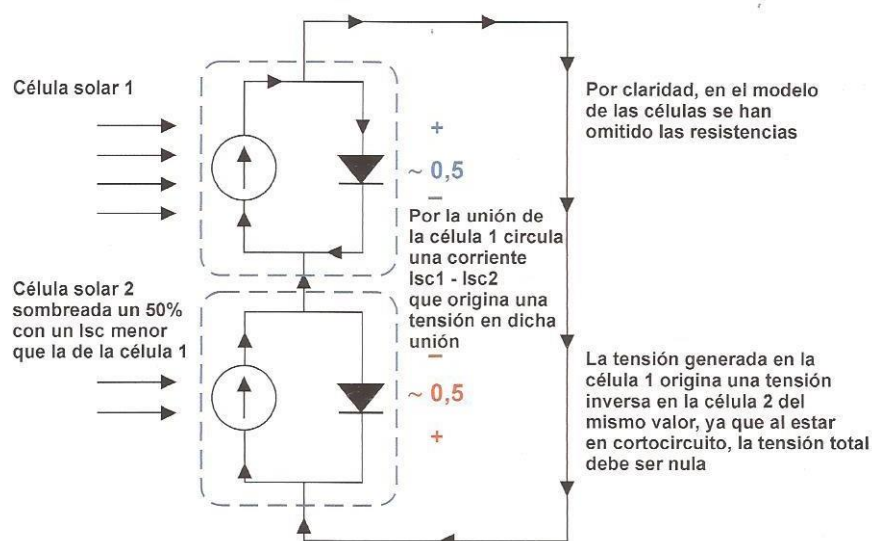


Fig. 4.10 Efecto de sombreado en dos células en serie.[29]

En esta imagen se puede observar que la corriente total que fluye por el circuito está limitada por la generada por la célula sombreada (célula solar 2). Como resultado, una parte de la corriente que puede producir la otra célula se ve obligada a pasar por su unión (ya que no puede fluir por el circuito), creando una tensión continua de aproximadamente 0,6 voltios entre sus extremos. Como las células están cortocircuitadas, la suma de las tensiones entre sus extremos debe ser cero, lo que significa que la célula sombreada está sometida a una tensión inversa igual a los 0,6 voltios existentes entre los extremos de la célula no sombreada. En estas condiciones, la célula sombreada no genera energía, sino que la disipa, ya que la corriente y la tensión tienen signos opuestos.

En estas condiciones, la célula sombreada no genera energía, sino que la disipa, ya que la corriente y la tensión tienen signos opuestos. En un módulo en cortocircuito o con corrientes próximas (salida de baja tensión), el peor escenario sería que sólo una de las células de la serie estuviera sombreada. La degradación de las soldaduras de contacto o incluso la rotura del cristal de la célula o del módulo se conoce comúnmente como el "problema del punto caliente". Para mitigar los efectos de los puntos calientes causados por una tensión inversa excesiva en una célula sombreada, se emplean diodos de paso.

Se presenta la misma situación que en la figura anterior, pero ahora se incluye un diodo de paso en cada célula como se muestra en la fig. 4.11

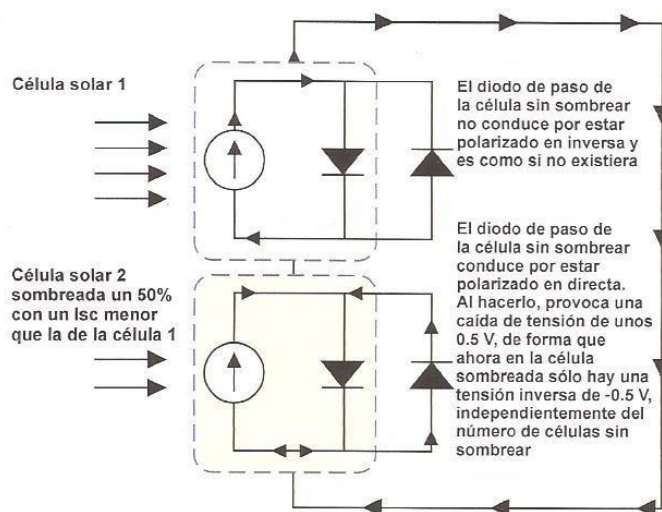


Fig. 4.11 efecto del sombreado en dos células en serie usando diodos de paso.

Al conectar un diodo de derivación en antiparalelo con la célula solar, el diodo se polariza hacia delante y empieza a conducir corriente, manteniendo una tensión constante en sus terminales (funcionamiento típico de un diodo). En la práctica, sería demasiado caro

incluir un diodo de derivación para cada célula del módulo. En su lugar, se colocan alrededor de un grupo de células. De este modo, la tensión inversa que experimentaría una célula sombreada es igual a la tensión directa del diodo de derivación más la suma de las tensiones directas de las uniones de las células no sombreadas que comparten el mismo diodo.

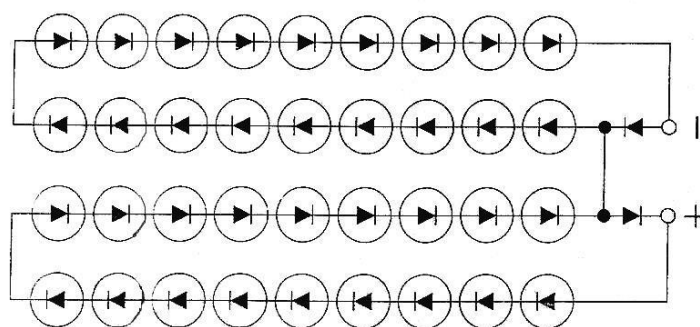


Fig. 4.12 Diagrama de conexión de las 36 células de un módulo, con dos diodos de paso agrupando 18 células cada uno.

Es importante señalar que si al módulo de la figura 4.12 se conecta directamente una batería, por ejemplo, se invierte la polaridad, uniendo las terminales de distinto signo, los diodos de paso permitirán la circulación de la corriente originándose un cortocircuito de consecuencias fatales.

#### 4.11.1 SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN

Actualmente, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos existentes son autónomos o independientes de la red eléctrica convencional, lo que significa que casi toda la energía eléctrica consumida es de origen fotovoltaico.

Aparte de otras consideraciones, estos sistemas fotovoltaicos se caracterizan generalmente por un consumo eléctrico constante, continuo y prolongado en el tiempo. Estos últimos aspectos hacen necesaria la inclusión de un subsistema de almacenamiento de energía entre los subsistemas de generación y consumo final, cuya misión es garantizar la disponibilidad de energía eléctrica siempre que sea necesario. Para conseguirlo, se utilizan acumuladores electroquímicos que almacenan la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos y otros generadores de la instalación (como aerogeneradores, generadores diésel, etc.).

Un acumulador electroquímico, o simplemente una "batería", es un dispositivo capaz de almacenar o suministrar la carga eléctrica implicada en las reacciones electroquímicas que

tienen lugar durante su funcionamiento, manteniendo una diferencia de potencial aproximadamente constante entre sus dos terminales de conexión externos.

Un dispositivo básico para almacenar electricidad consta de dos electrodos de material activo que participan en reacciones electroquímicas. Estos electrodos crean una diferencia de potencial capaz de generar corriente eléctrica a través de un circuito externo. El electrolito, normalmente una sustancia acuosa, sirve de conductor entre los electrodos y también participa en las reacciones. Los acumuladores electroquímicos suelen contener varias celdas conectadas de forma adecuada para conseguir la diferencia de potencial y la capacidad de almacenamiento deseadas para un uso práctico. Desde el punto de vista de los efectos eléctricos, un acumulador electroquímico puede considerarse como una fuente de tensión ideal en serie con una resistencia interna, tal como se representa en la figura 4.13

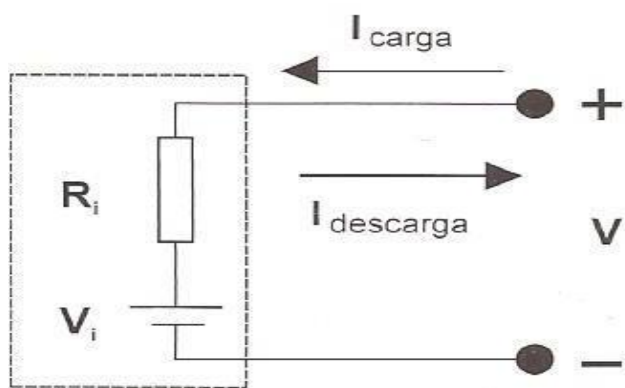


Fig. 4.13 Circuito eléctrico equivalente de un acumulador electroquímico.[1]

#### 4.11.2 PARÁMETRO QUE DEFINIE EL RENDIMIENTO DE UNA BATERÍA: SU CAPACIDAD NOMINAL

El principal parámetro que determina el rendimiento de una batería es su capacidad nominal, que indica la cantidad de corriente que puede entregar una batería completamente cargada durante un periodo específico, hasta que su voltaje desciende a un valor determinado (por ejemplo, un umbral de medición), momento en el cual se considera que la batería está completamente descargada.

La capacidad nominal se expresa en Amperios-hora (Ah), aunque esta unidad puede resultar confusa, ya que los Ah requeridos para cubrir un consumo de 20 amperios durante 15 minutos son equivalentes a los Ah necesarios para un consumo de 1 amperio durante 5

horas, es decir, 5 Ah. Por ello, la capacidad de una batería siempre se asocia a un subíndice que especifica el tiempo de descarga correspondiente. Por ejemplo, una capacidad C20 de 100 Ah indica que la batería puede suministrar 5 amperios durante 20 horas. Sin embargo, para determinar cuántos amperios puede ofrecer en otros periodos de descarga, no se puede aplicar simplemente una regla de tres; es crucial referirse a los datos proporcionados por el fabricante, ya que la relación entre capacidad y tiempo de descarga no es lineal, como se ilustra en la figura 4.14.

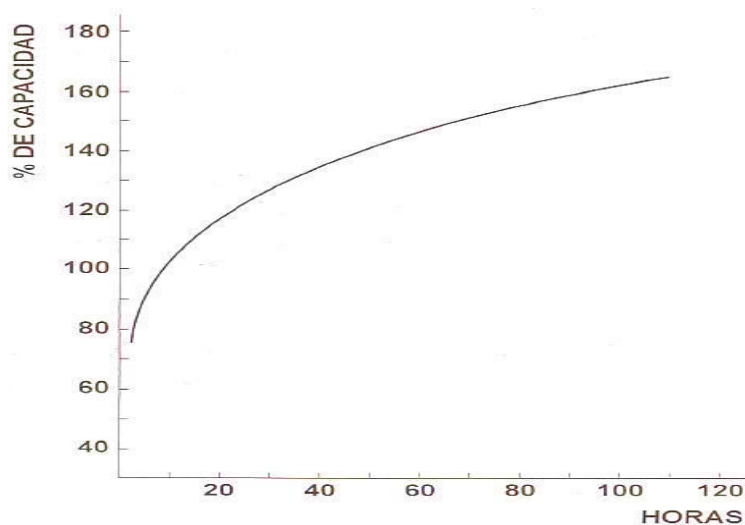


Fig. 4.14 Variación típica de la capacidad en función del tiempo de descarga, indicada en % de C20.[53]

Otro parámetro de interés práctico es la profundidad de descarga, que indica la relación porcentual entre los Ah extraídos de la batería y los Ah que se pueden extraer. Paralelamente, se define el estado de carga de una batería como la relación porcentual entre los Ah disponibles y los Ah máximos que se pueden extraer. Obviamente se cumple que:

$$\text{Estado de carga} = 100 - \text{profundidad de descarga}$$

Esta sencilla ecuación nos dice que la profundidad de descarga es un parámetro de diseño y, de hecho, las baterías están dimensionadas para evitar que se descarguen más allá de una profundidad de descarga preestablecida durante el funcionamiento normal. Este parámetro es crucial porque de él depende en gran medida la vida útil de la batería y se puede definir como el número de ciclos de carga-descarga que la batería puede soportar hasta que su capacidad se reduce irreversiblemente, valor nominal al 80% de su capacidad.

#### 4.12 PANEL FOTOVOLTAICO

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por un conjunto de celdas solares, siendo los más comunes aquellos que tienen entre 40 y 80 celdas conectadas en serie, con superficies que oscilan entre  $0.8 \text{ m}^2$  y  $2 \text{ m}^2$ . Estas celdas están protegidas por dos capas: una en la parte superior y otra en la inferior, esta última actúa como aislante y proporciona rigidez al panel.

Además, el panel incluye un vidrio frontal que protege las celdas de polvo, lluvia, granizo y golpes, así como un marco metálico en los laterales que facilita su instalación y previene la oxidación. Los contactos eléctricos se sitúan en la parte trasera, y algunos paneles tienen cajas de plástico y orificios laterales para la entrada y salida de los cables de conexión.

La potencia máxima que pueden generar, que es la característica más relevante de los paneles, varía según el tipo de celdas utilizadas, alcanzando entre 50 Wp y 220 Wp. Esta potencia máxima tiene en cuenta varios factores que pueden influir en su rendimiento, como la intensidad de corriente, la tensión, la temperatura del entorno, la temperatura de funcionamiento y la degradación del panel.

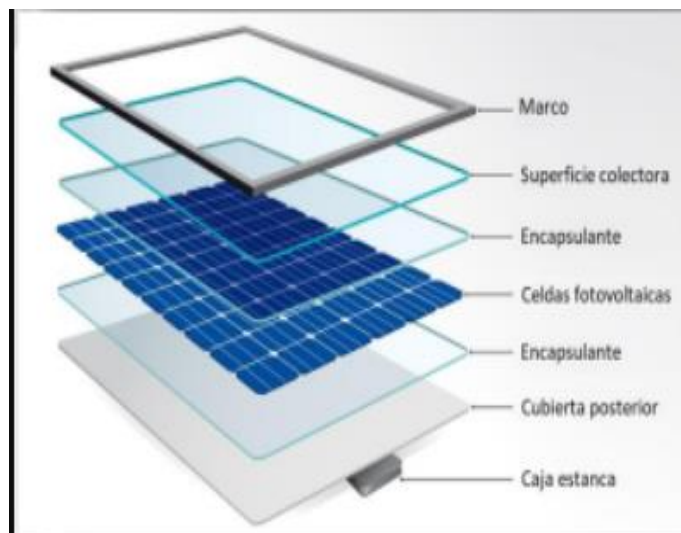


Figura 4.15 Estructura de un panel fotovoltaico.[93]

**Los principales módulos fotovoltaicos se encuentran resumidos en la tabla 4.2 .[61]**

| Potencia de salida (W)    | Tipo de módulo                                                                       | Superficie                              | Aplicaciones                                                                                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Micropotencia<br>0-2      | Célula solar interior de 1.5 a 6 V.<br>Módulo pequeño de silicio amorfo de 4 a 12 V. | 0-500 cm <sup>2</sup>                   | Calculadoras, relojes, teléfonos, alarmas.                                                              |
| Potencia débil<br>2-10    | Módulos de silicio amorfo o silicio policristalino de 6 o 12V.                       | 500 cm <sup>2</sup> -0.2 m <sup>2</sup> | Instrumentación, estaciones meteorológicas, parquímetros, vallas electrificadas, electrificación rural. |
| Potencia media<br>20-50   | Módulos de silicio cristalino, mono o policristalino de 6 o 12V.                     | 0.2 m <sup>2</sup> -0.5m <sup>2</sup>   |                                                                                                         |
| Potencia fuerte<br>50-200 | Módulos de silicio cristalino, mono o poli de 12, 24V o más.                         | Mayor a 0.5 m <sup>2</sup>              | Casas aisladas, electrificación rural, conexión a red, telecomunicaciones, centrales solares.           |

### **Generador Fotovoltaico**

Para que pueda disponerse de la potencia instalada adecuada, según la aplicación, se precisa del montaje de varios módulos fotovoltaicos. Dado lo anterior, existen dos configuraciones básicas para el montaje de los módulos: el montaje en serie y el montaje en paralelo. Debe considerarse que sólo los módulos que tienen la misma corriente se montan en serie y los que poseen la misma tensión se montan en paralelo.

El conjunto de módulos conectados eléctricamente en serie forma ramales, los cuales a su vez están conectados en paralelo para conformar un generador fotovoltaico. Los generadores fotovoltaicos se encuentran montados sobre estructuras mecánicas para aprovechar de mejor forma la energía solar.

Para el diseño de los generadores fotovoltaicos se toman en cuenta los factores que intervienen en los campos de aplicación; entre los principales factores a considerar se encuentran: la carga eléctrica demandada, la potencia máxima, posibilidad de conexión a la red eléctrica, latitud y radiación solar del lugar, características físicas del terreno o edificio y características eléctricas de carga.

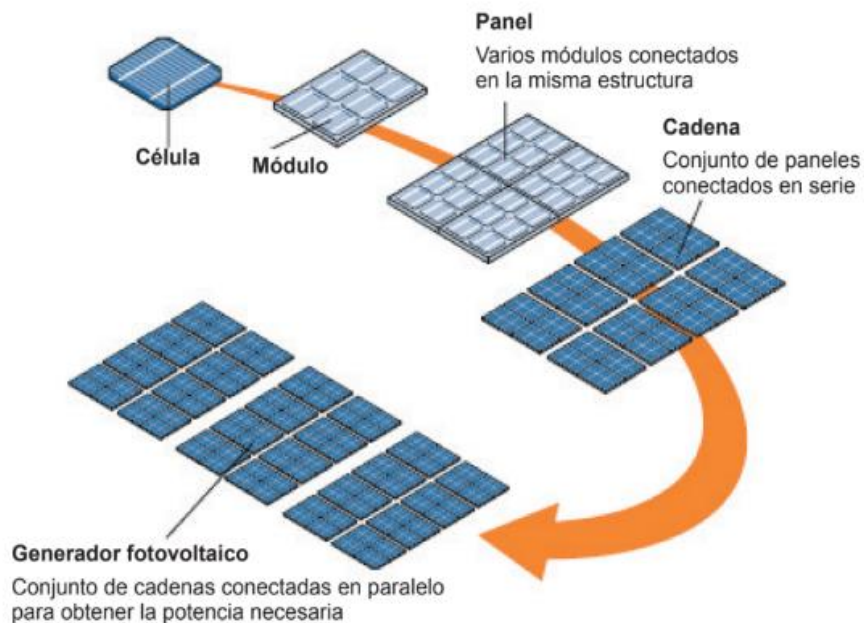


Figura 4.16 Componentes de un generador fotovoltaico.[93]

### Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte, tal y como sugiere su denominación, desempeñan la función de proporcionar respaldo a los generadores fotovoltaicos, al mismo tiempo que garantizan que estos se mantengan en la posición óptima para capturar la máxima radiación solar durante el transcurso del año.

Existen dos estructuras básicas de soporte: las fijas y las que incorporan seguimiento solar. Los paneles situados en estructuras fijas poseen una inclinación idónea para recibir la luz solar a lo largo del año; no obstante, debido al cambio de posición del sol, la inclinación sugerida puede variar conforme a la latitud del sitio, aunque por lo general es de  $30^\circ$  en dirección sur. Esta inclinación puede ajustarse aproximadamente  $10^\circ$  dependiendo del uso específico de los paneles.

En cuanto a las estructuras con seguimiento solar, están diseñadas para satisfacer el objetivo de incrementar la producción eléctrica del sistema. Estos tipos de estructuras pueden adaptarse en distintas formas, una posibilidad consiste en situar los paneles con una inclinación adecuada que permita el giro de la misma en un eje para seguir el movimiento del Sol (seguimiento polar en un eje). Del mismo modo, los paneles pueden estar orientados hacia el sur y las estructuras pueden modificar dicha inclinación con el fin de que los rayos solares impacten perpendicularmente sobre su superficie (seguimiento azimutal en un eje). Finalmente, los paneles solares pueden ser asistidos por estructuras

que busquen constantemente la mejor orientación y posición requeridas para maximizar la absorción de radiación solar incidente (sistema de seguimiento de dos ejes).

### **Cables de conexión**

La selección apropiada de los cables de conexión es esencial para garantizar un transporte eficiente de energía eléctrica en un sistema fotovoltaico y minimizar las pérdidas de energía. El cobre es el material más predominante utilizado en la fabricación de cables, aunque el aluminio también puede ser una opción viable para reducir las pérdidas en las conducciones. Si bien los costos representan un factor importante en la elección del cableado, aspectos como la longitud y el área de los cables influirán directamente en las pérdidas de energía (caídas de voltaje) y el volumen a utilizar, incidiendo en consecuencia sobre los costos finales.

### **Inversor**

Los inversores desempeñan un papel crucial en la conversión de corriente continua, presente en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, a corriente alterna para que pueda ser inyectada a la misma. En la actualidad, los tipos de inversores más empleados son los autoconmutados y los conmutados en línea. La principal diferencia entre ambos radica en que, mediante los conmutados en línea, no se puede controlar el tiempo de parada de la conducción eléctrica, requiriendo así del apoyo de otros dispositivos. Por otro lado, los inversores autoconmutados cuentan con los dispositivos necesarios para administrar los tiempos de conducción y no conducción de energía eléctrica.

### **Batería solar**

La energía se almacena en sistemas fotovoltaicos mediante baterías solares. Existen diferentes tipos de baterías solares, pero las más comunes son de plomo-ácido (Pb-ácido) o de cadmio-níquel (NiCd). El funcionamiento general de las baterías solares consiste en una serie de reacciones químicas que indican su estado de carga; los electrodos de la batería, compuestos de plomo y óxido de plomo, están sumergidos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido. Estos electrodos, unidos a un receptor externo consumidor de corriente, se convierten en sulfato de plomo y en ácido diluido, cuya densidad permite conocer el estado de carga y descarga de la batería.

El rendimiento de las baterías solares depende de la temperatura del ambiente en el que están instaladas. La temperatura óptima para una batería está cerca de 25°C ya que permite el balance entre su eficiencia y su vida útil.

### **Regulador de carga**

La función principal del regulador es proteger la batería de sobrecargas y descargas. La importancia de los reguladores de carga radica en varios aspectos, como el control de los flujos de energía, la protección de las baterías, la supervisión y seguridad de la instalación, y la provisión de información sobre el estado de carga de las baterías y su funcionamiento.

Existen dos tipos de reguladores: lineales y conmutados. Los reguladores lineales se dividen en controles en serie y en paralelo. Esta última clasificación se refiere a la dirección que toma la corriente de carga en relación con el banco de baterías: en un control en paralelo, cuando la batería alcanza un nivel específico de carga, la corriente de los paneles se desvía hacia un circuito que está en paralelo con el banco de baterías.

Estos componentes son cruciales en el diseño de sistemas fotovoltaicos, ya sean aislados o conectados a la red, ya que permiten que el proceso de generación y distribución de electricidad se realice correctamente y que se satisfagan, en gran medida, las necesidades energéticas. Estas necesidades determinarán el tipo de sistema fotovoltaico a utilizar y las características de los componentes a incluir.

### **4.13 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Se define como sistema fotovoltaico un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que recolectan y convierten la energía solar disponible para su uso como energía eléctrica. [25]

Independientemente de su utilización y el tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- Aislados (“Stand alone”)
- Conectados a la red (“Grid connected”)

Aunque la estructura física de los sistemas fotovoltaicos varía mucho, por lo general es posible distinguir entre tres elementos básicos: el campo fotovoltaico, sistema de acondicionamiento de la potencia y sistema de adquisición de datos.

#### 4.14 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas fotovoltaicos aislados se utilizan frecuentemente para proporcionar electricidad a usuarios con bajo consumo energético y que enfrentan dificultades para conectarse a la red eléctrica. Su principal aplicación se encuentra en la electrificación de viviendas y edificios, iluminación pública, agricultura, bombeo y tratamiento de agua, señalización de obras y carreteras, y sistemas de medición, entre otros.

Dado que no están conectados a la red, estos sistemas suelen contar con sistemas de almacenamiento de energía. Esto es necesario porque los paneles fotovoltaicos solo generan energía durante el día, mientras que la mayor demanda de los usuarios a menudo ocurre por la tarde y la noche.

Durante la fase de insolación, se espera que la energía acumulada se use cuando la disponibilidad de energía es baja o inexistente. Esta configuración requiere que el campo fotovoltaico esté diseñado para suministrar energía a las cargas y recargar las baterías durante las horas de luz solar.

Según se puede ver en la Figura 4.17 los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son:

1. Módulos fotovoltaicos
2. Regulador de carga
3. Inversor
4. Sistema de acumulación (baterías de acumulación)

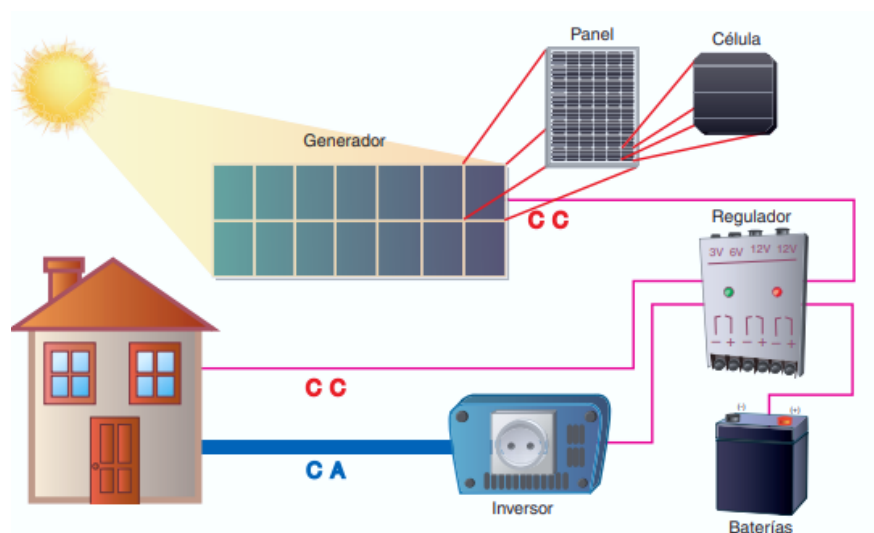


Figura 4.17 Componentes de un sistema fotovoltaico.[25]

La energía derivada por los módulos fotovoltaicos es acumulada en baterías. La carga alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulada en las baterías.

El regulador de carga tiene como función principal proteger los acumuladores de sobrecargas provenientes del generador fotovoltaico y de descargas excesivas por un uso elevado. Ambas situaciones pueden perjudicar tanto la funcionalidad como la vida útil de los acumuladores.

Generalmente, la demanda de energía por parte del usuario no coincide con la radiación solar, lo que significa que una parte de la energía generada por el sistema fotovoltaico debe ser almacenada para su uso posterior. Esta es la razón de ser del sistema de acumulación, que consiste en un conjunto de acumuladores recargables diseñados para asegurar una autonomía adecuada en el suministro de energía eléctrica.

Las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos deben cumplir ciertos requisitos:

- a. Baja auto-descarga.
- b. Larga vida útil.
- c. Mínimo mantenimiento.
- d. Alto número de ciclos de carga y descarga.

La tecnología actual permite el uso de baterías de plomo ácido de larga duración (más de 6 años) con requerimientos de mantenimiento muy bajos.

En cuanto al inversor, su función en sistemas aislados es convertir la corriente continua (DC) generada por el sistema fotovoltaico en corriente alterna (AC), necesaria para el suministro directo a los usuarios. El inversor debe estar dimensionado para alimentar la carga que se desea conectar. Sin embargo, es importante señalar que el inversor no es un componente esencial en este tipo de instalaciones, ya que es posible alimentar directamente la carga con corriente continua de baja tensión.

Para dimensionar un sistema aislado, es importante considerar varios factores que se pueden resumir en los siguientes pasos: determinar las necesidades del usuario (voltaje, características energéticas de los dispositivos y el tiempo de funcionamiento de cada uno).

1. Cuantificación de la energía solar que pudiera recibir considerando su situación geográfica.
2. Definición de los módulos fotovoltaicos a utilizar.
3. Elección de la batería solar.
4. Elección del regulador.

5. Diseño de cableado
6. Estimación de los costos de instalación

### **Cuantificación de la energía solar a recibir**

Para la cuantificación de la energía solar deben conocerse los datos meteorológicos del lugar en el cual se realizará la instalación fotovoltaica para conocer la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Los datos meteorológicos brindarán la información necesaria sobre los niveles de radiación del lugar, así como de los meses más favorables para la recolección de la energía solar. El diseño de la instalación fotovoltaica se hará tomando como referencia la condición más desfavorable de la región, esto es, el mes con menor radiación anual. Por otra parte, tienen que analizarse las posibles sombras que puedan producirse en edificios, si los módulos se van a colocar en alguno de ellos, u originarse por otros obstáculos pues si alguna celda está en sombra podría ocasionar que el sistema reduzca su eficiencia.

Finalmente, se recomienda que los módulos estén orientados hacia el sur, si la instalación es en el hemisferio norte, y hacia el norte si la instalación es en el hemisferio sur. La inclinación de los paneles depende de los niveles de insolación anuales y de la latitud: se recomienda que la inclinación de los paneles sea igual, o cercana, a la latitud del lugar + 10° para un funcionamiento anual.

#### **4.15 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED**

A diferencia de los sistemas fotovoltaicos aislados, los sistemas conectados a la red no cuentan con un sistema de almacenamiento de energía, es decir, con una batería solar, ya que la energía producida durante las horas de insolación es suministrada a la red. Una gran ventaja de los sistemas conectados a red es la ausencia de combustibles fósiles durante la producción de electricidad, lo que reduce considerablemente los costos y los impactos ambientales negativos.

En los sistemas conectados a red es necesario conectar con las líneas de distribución, cumpliendo con los requisitos demandados por la compañía eléctrica.

El inversor es uno de los componentes más importantes en los sistemas conectados a red, ya que maximiza la producción de corriente del dispositivo fotovoltaicos y optimiza el paso de energía entre el módulo y la carga.

El inversor es un dispositivo que transforma la energía continua producida por los módulos (12V, 24V, 48V, ...) en energía alterna (generalmente 220V), para alimentar el sistema y/o introducirla en la red, con la que trabaja en régimen de intercambio. Los inversores para la conexión a la red eléctrica están equipados generalmente con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico.

El dispositivo de conexión a la red asegura que la energía eléctrica que se inyecta cumpla con todas las especificaciones necesarias.

Por su parte, el contador de energía registra la cantidad de energía generada por el sistema fotovoltaico a lo largo de su funcionamiento. Según se puede ver en Figura 4.18, una instalación solar fotovoltaica aislada se compone de:

1. Módulos fotovoltaicos.
2. Inversor
3. Contador de producción y consumo
4. Red eléctrica

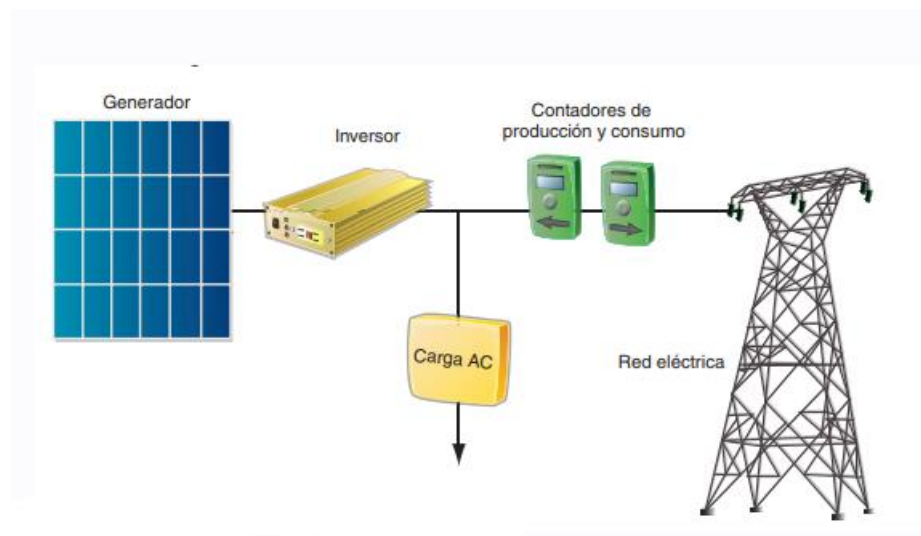


Figura 4.18 Instalación solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica[25]

**Las aplicaciones principales de este tipo de sistemas se encuentran en:**

- Sistemas instalados en techos de edificios: La instalación es relativamente sencilla y se aprovecha la superficie de los edificios para colocar los módulos fotovoltaicos.
- Centrales de producción: Se utilizan grandes terrenos rurales que no tienen otros usos, así como amplias cubiertas urbanas para la instalación de estos sistemas.
- Integración arquitectónica: En este caso, los paneles solares se incorporan directamente a la construcción, quedando fijos en la cubierta del edificio.

Los componentes clave de un sistema fotovoltaico conectado a la red son los módulos fotovoltaicos, el inversor, el dispositivo de conexión a la red eléctrica y el contador de energía bidireccional. A diferencia de los sistemas aislados, un sistema conectado a la red tiene menos componentes, lo que simplifica su diseño. Sin embargo, los estudios preliminares necesarios deben ser más detallados para seleccionar adecuadamente los componentes óptimos y estimar la producción esperada, especialmente en grandes centrales.

**4.16 DISTRIBUCIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Durante la instalación de generadores fotovoltaicos en una central, hay varios factores a considerar, siendo la inclinación uno de los más importantes, ya que influye directamente en la captación de energía solar. Lo ideal sería que la inclinación de los paneles se ajustara a lo largo del año, pero si el espacio es limitado, se debe optar por un ángulo de inclinación menor, aceptando un porcentaje de pérdidas. A pesar de estas pérdidas, reducir el ángulo de inclinación ofrece beneficios como soportes más pequeños y económicos, mayor potencia instalada, y menor sensibilidad al viento y al impacto visual.

El tipo de energía recibida también es crucial para determinar la inclinación de los módulos. En áreas de baja altitud con nubes y brumas, se recibe más energía difusa, lo que favorece una inclinación más plana. En cambio, en zonas de mayor altitud, donde hay más energía solar directa, se requiere una inclinación mayor.

La separación entre los paneles solares depende de la latitud del lugar y debe garantizar al menos cuatro horas de exposición durante el solsticio de invierno, evitando sombras que puedan afectar la captación de energía. La fórmula utilizada para calcular esta distancia es:

$$d = h/t \cdot g(61^\circ - \text{latitud})$$

donde  $h/t \cdot g(61^\circ - \text{latitud})$  es un coeficiente adicional denominado  $k$  y está en función de la latitud del lugar.

#### 4.17 DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA CONECTADO RED

El dimensionamiento de un sistema conectado a red sea cual sea su alcance, incluye la elección de los componentes, la configuración del campo fotovoltaico, la estimación de la energía anual producida y el análisis de costos. La elección de los componentes del sistema dependerá de los aspectos técnicos y económicos, principalmente. La elección del convertidor, un elemento significativo en las centrales solares, tendrá que tener una potencia de salida ligeramente menor a la potencia generada por el campo fotovoltaico, esto por las pérdidas que pudieran presentarse en este último, es decir, las posibles pérdidas por el cableado y la diferencia de potencia entre los paneles. Si la potencia de entrada (la generada por los módulos) resulta ser mayor, la potencia del convertidor se mantiene y las pérdidas son menores.

#### 4.18 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ANUAL

La producción anual de energía de una central solar está en función de la irradiación solar, de la potencia instalada y del rendimiento de la instalación. Para realizar los cálculos necesarios se debe disponer de los valores medios, mensuales y anuales, de irradiación diaria sobre una superficie horizontal. A continuación, se definen algunos de los componentes que intervienen en la estimación de la producción de energía anual.[70]

$G_{dm}(0)$ , valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal, en  $kWh/m^2$  día.

$G_{dm}(\alpha, \beta)$ , valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en  $kWh/m^2$  día, obtenido a partir del dato anterior, y dentro del cual se

consideran las pérdidas por sombras en caso de que sean mayores al 10% anual. El término  $\alpha$  representa la inclinación del generador fotovoltaico y  $\beta$  el azimut (ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar).

PR, rendimiento energético de la instalación en condiciones reales de trabajo.

La estimación de la producción anual de energía se realiza aplicando la ecuación (5):

$$E_p = G_{CEM} G_{dm}(\alpha, \beta) * P_{pm} * PR$$

donde  $P_{pm}$ : potencia pico del generador y  $G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$

Las unidades de  $E_p$  se encuentran en kWh/día.

#### 4.19 MINI-REDES SOLARES

Las mini redes solares son sistemas de generación de energía eléctrica a pequeña escala que utilizan la radiación solar como fuente de energía. Estas redes están compuestas generalmente por paneles solares, reguladores de carga, baterías y un inversor, que convierte la energía generada por los paneles solares en corriente alterna utilizable.[15]

La creación de mini-redes solares es una de las estrategias más efectivas para fomentar el uso de energías renovables, especialmente en comunidades rurales o en áreas donde no existe acceso a una red eléctrica convencional.

Estos sistemas son ideales para abastecer de energía a zonas rurales o remotas donde no llega la red eléctrica convencional, así como para aplicaciones de baja potencia como iluminación en espacios exteriores, cargadores de dispositivos móviles, bombas de agua, sistemas de comunicación, entre otros.

Además de ser una fuente de energía sostenible y renovable, las mini redes solares son fáciles de instalar y mantener, no requieren conexión a la red eléctrica y pueden adaptarse a diferentes necesidades y capacidades de generación. Estos sistemas también permiten almacenar energía en baterías para ser utilizada durante la noche o en momentos de baja radiación solar.

Las mini-redes solares son sistemas de energía independientes que generan electricidad a partir de paneles solares fotovoltaicos y la distribuyen a un grupo de usuarios en la comunidad. Estas mini-redes pueden ser gestionadas de forma cooperativa, por

empresas locales o mediante la participación activa de los propios miembros de la comunidad.( Castro, C. (2023)[12]

Algunos de los beneficios de las mini-redes solares son:[12][15]

1. Acceso a energía limpia y sostenible: Las mini-redes solares permiten a las comunidades acceder a electricidad sin depender de fuentes de energía no renovables y sin generar emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Desarrollo económico y social: La instalación y gestión de las mini-redes solares puede generar empleo local y promover el desarrollo de emprendimientos relacionados con las energías renovables en la comunidad. Además, el acceso a la electricidad mejora las condiciones de vida de la población, especialmente en términos de educación, salud y comunicación.
3. Resiliencia energética Las mini-redes solares suelen estar equipadas con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, lo que permite mantener el suministro eléctrico incluso en caso de interrupciones o fallos en los paneles solares.
4. Reducción de costos: A largo plazo, las mini-redes solares pueden reducir los gastos asociados a la generación y distribución de energía en comparación con los sistemas convencionales, ya que los combustibles fósiles no son necesarios y los costos de mantenimiento son menores. [12][15]

Para implementar las mini-redes solares, es importante contar con una planificación adecuada, involucrar a la comunidad en el proceso de toma de decisiones, establecer acuerdos de financiamiento, capacitación y mantenimiento, y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

#### **4.20 OBJETIVOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica tiene varios objetivos, entre ellos:

- Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles: La energía solar fotovoltaica es una forma limpia y renovable de producir electricidad, lo que reduce la dependencia de los combustibles fósiles que contribuyen al cambio climático y la contaminación del aire.

- **Mitigación del cambio climático:** Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la energía solar fotovoltaica puede ayudar a mitigar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Promover la sostenibilidad:** La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia, lo que ayuda a promover la sostenibilidad al reducir la huella de carbono y mejorar la calidad del aire.
- **Fomentar la independencia energética:** La energía solar fotovoltaica puede ayudar a fomentar la independencia energética al proporcionar una fuente de energía descentralizada y local.
- **Reducción de costos de energía:** A medida que la tecnología de energía solar fotovoltaica ha mejorado y ha habido un aumento en la producción en masa, los costos de la energía solar fotovoltaica se han reducido, lo que puede ayudar a hacer que la energía solar fotovoltaica sea más accesible y económica para más personas.[33]

#### **4.21 OBJETIVO DE LOS PANELES SOLARES**

- Los paneles solares tienen varios objetivos y usos, pero el objetivo principal es convertir la energía solar en energía eléctrica que se puede utilizar para alimentar diferentes dispositivos y aplicaciones. A continuación, se detallan algunos objetivos comunes de los paneles solares:
- **Generar energía eléctrica renovable:** Los paneles solares convierten la energía solar en electricidad que se puede utilizar para alimentar hogares, empresas y otras aplicaciones.
- **Reducir la dependencia de los combustibles fósiles:** Al utilizar paneles solares para generar energía, se reduce la necesidad de combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural, lo que puede ayudar a reducir la dependencia de estos recursos no renovables.
- **Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero:** La energía solar es una forma limpia y renovable de generar electricidad, lo que significa que no emite gases de efecto invernadero u otros contaminantes atmosféricos dañinos.
- **Ahorrar dinero en facturas de energía:** Los propietarios de hogares y negocios pueden utilizar paneles solares para generar su propia energía eléctrica y reducir su dependencia de la red eléctrica, lo que puede ayudar a reducir sus facturas de energía.

- Proporcionar energía en áreas remotas: Los paneles solares pueden proporcionar energía en áreas remotas donde no hay acceso a la red eléctrica convencional, lo que puede ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas en estas áreas.
- Apoyar la resiliencia energética: Los paneles solares pueden ayudar a mejorar la resiliencia energética al proporcionar una fuente de energía independiente de la red eléctrica convencional en caso de cortes de energía o desastres naturales.[33]

#### 4.22 ¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR?

##### **Ventajas de la energía solar**

- La energía solar es una fuente de energía limpia, infinita y renovable.
- Una vez que se instala un sistema de paneles solares, se puede producir de forma gratuita energía solar.
- La energía solar durará para siempre, mientras que se estima que las reservas mundiales de petróleo durarán de 30 a 40 años.
- La energía solar no causa contaminación.
- Las células solares no hacen ningún ruido en absoluto. Por otro lado, las máquinas gigantes utilizadas para bombear petróleo son extremadamente ruidosas y, por lo tanto, muy poco prácticas.
- Se necesita muy poco mantenimiento para mantener las células solares en funcionamiento. No hay partes móviles en una célula solar que hace imposible dañarlas realmente.
- A largo plazo, puede haber un alto retorno de la inversión debido a la cantidad de energía gratuita que puede producir un panel solar, se estima que el hogar promedio verá que el 50% de su energía proviene de los paneles solares.[12]

##### **Desventajas de la energía solar**

- Los paneles solares pueden ser costosos de instalar, lo que resulta en un retraso de muchos años para ahorrar en las facturas de energía para que coincida con las inversiones iniciales.
- La generación de electricidad depende completamente de la exposición de los países a la luz solar; esto podría estar limitado por el clima de un país.

- Las plantas de energía solar no coinciden con la potencia de las centrales eléctricas convencionales de tamaño similar; también pueden ser muy caros de construir.
- La energía solar se usa para cargar las baterías de modo que los dispositivos que funcionan con energía solar puedan usarse por la noche.
- Las baterías a menudo pueden ser grandes y pesadas, ocupan espacio y necesitan ser reemplazadas de vez en cuando.[12]

#### **4.23 EFECTO DE LA ENERGÍA SOLAR**

La energía solar otorga considerables ventajas a los seres humanos y al entorno, ya que no solo fomenta el crecimiento sostenible y la mitigación de los efectos del cambio climático, sino que también conlleva beneficios socioeconómicos significativos. Al contrario de las fuentes convencionales de generación de energía eléctrica (combustibles fósiles), las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de fuentes renovables son inexistentes y los costos asociados pueden ser inferiores. No obstante, la envergadura de los proyectos solares está directamente relacionada con los impactos que puedan generar durante su desarrollo e implementación.

A pesar de que los efectos de la energía solar, y en general de todas las energías renovables, son reducidos, el progreso de proyectos en este ámbito puede propiciar cambios en las regiones donde se ejecutan, principalmente en el uso del suelo, flora y fauna, cuerpos de agua e incluso niveles considerables de ruido. Asimismo, pueden ocasionar impactos visuales negativos, aunque este último suele ser relativo. [33]En lo que respecta a proyectos solares, éstos tienen implicaciones favorables en las regiones donde se desarrollan tales como la recuperación de áreas deterioradas, disminución en líneas de transmisión y optimización del uso hídrico. Sin embargo, es indispensable llevar a cabo estudios y evaluaciones pertinentes para identificar riesgos potenciales y aplicar medidas adecuadas para su mitigación.[66][36]

**En relación con los proyectos solares, diversos aspectos deben ser tomados en cuenta para su correcta ejecución, a saber:**

- **Ubicación:** Los sistemas solares de gran magnitud deben situarse en zonas que no estén altamente pobladas, que no pertenezcan a alguna área nacional protegida y que no cuenten con gran belleza natural.

- Proceso operativo: Es necesario diseñar un procedimiento que promueva el uso racional del agua, con medidas de seguridad y disponer adecuadamente los desechos.
- Consultar a las comunidades: es importante involucrar a las comunidades locales en las etapas tempranas del proyecto para asegurar su aceptación.
- El uso de tecnologías y técnicas más sofisticadas.
- Identificación de limitaciones en el proyecto y realización de evaluaciones previas a su desarrollo.
- Capacitación del personal involucrado en la construcción de las centrales solares.
- Restauración de la flora y fauna locales.
- Elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) y de la Evaluación de Impacto Social (EVIS) correspondientes. (Guía para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía renovable. Gob.Mx. Retrieved December 6, 2023) [66]

#### **4.24 EFECTO SOCIOECONÓMICO**

Los persistentes conflictos sociales derivados de la implementación de proyectos de energía solar en diversas regiones han generado incertidumbre acerca de los beneficios potenciales para las comunidades involucradas. En nuestro país, por ejemplo, aproximadamente 18 proyectos de energías renovables, incluidos parques fotovoltaicos, se encuentran suspendidos debido a inconvenientes con las comunidades locales que reclaman falta de consulta o por los impactos asociados.

No obstante, la edificación de proyectos solares conlleva beneficios económicos que fomentan el progreso social en las comunidades adyacentes a la ubicación del proyecto, tales como:

- Autonomía energética a nivel regional y nacional.
- Generación de empleo para las poblaciones locales.
- Diversificación y abastecimiento en el suministro energético.
- Fomento del desarrollo rural mediante la electrificación.

Adicionalmente, la llegada de trabajadores foráneos origina un significativo efecto económico en el área del proyecto debido al consumo de productos locales; asimismo, la generación de empleos temporales contribuye a la revitalización económica, principalmente durante la etapa constructiva.

En el presente contexto, el fomento de proyectos en materia de energía solar propicia la conformación de grupos encargados de tomar decisiones en las comunidades, así como la atracción de inversión extranjera destinada al desarrollo de iniciativas vinculadas a energías limpias. A largo plazo, esto podría generar oportunidades en las comunidades y reducir la migración. La inclusión de las comunidades en este tipo de proyectos representa una gran ventaja, ya que refuerza las iniciativas de desarrollo social mediante la creación de alianzas con instancias y actores clave, lo cual posibilita atender algunas necesidades identificadas a través de la Evaluación de Impacto Social (EVIS).[66]

Los réditos económicos y sociales derivados de los proyectos solares son considerablemente significativos. No obstante, algunos habitantes pueden verse perjudicados debido a que la instalación de los componentes principales en las centrales solares impide futuras actividades agropecuarias. Además, el uso del agua durante estos proyectos podría exacerbar la escasez del recurso en regiones con baja disponibilidad.

#### **4.25 IMPACTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La implementación de la energía solar fotovoltaica ha experimentado un aumento a nivel global debido a la simplicidad de sus procesos operativos en comparación con otras tecnologías, así como los múltiples beneficios que ofrece. No obstante, estas ventajas se ven eclipsadas por los riesgos ambientales derivados de la producción de los paneles solares.

Las sustancias químicas utilizadas en la fabricación de las celdas solares pueden contaminar el aire y las aguas superficiales y subterráneas de manera considerable. A pesar de que las emisiones relacionadas con la producción de celdas solares no son altamente relevantes, el daño que pueden ocasionar en la calidad del aire es significativo, teniendo en cuenta que estos impactos son proporcionales al tamaño de los sistemas fotovoltaicos y que las características del área donde se instalen también influyen en la magnitud del impacto.[66][94]

Se abordarán otros impactos resultantes del uso de la tecnología solar fotovoltaica en las siguientes secciones.

#### **4.25.1 IMPACTO EN EL USO DE SUELO**

Las alteraciones o daños en el suelo suelen producirse durante la fase constructiva. Las actividades necesarias para la edificación de centrales fotovoltaicas generan movimientos de tierra y afectan las propiedades productivas del suelo. Esta situación crea conflictos con los habitantes locales, quienes perciben una amenaza a sus costumbres.

#### **4.25.2 IMPACTO VISUAL**

Similar a las centrales termoeléctricas, el impacto visual puede presentarse si las centrales se ubican en áreas de gran belleza natural, ya que este efecto resulta más evidente cuanto mayor sea el valor estético de la región. En el caso de que los paneles solares estén integrados en edificios, la estética de estos puede verse comprometida si el diseño arquitectónico no es compatible con el sistema fotovoltaico.

#### **4.25.3 IMPACTO SOBRE LA FLORA Y LA FAUNA**

Las instalaciones de energía solar fotovoltaica no generan impactos negativos significativos en las especies de flora; sin embargo, esto está condicionado a la realización de estudios pertinentes para identificar la presencia de endemismos o especies que requieran algún tipo de protección.

En caso de detectarse especies protegidas, se deben implementar medidas preventivas o seleccionar un sitio alternativo para ejecutar el proyecto.

Respecto a la fauna, las cadenas tróficas pueden verse afectadas cuando los proyectos son de gran envergadura, lo cual resulta en la degradación de los ecosistemas. Algunas especies que anidan en superficies de áreas con pastizales pueden ser perjudicadas ya que los parques solares suelen construirse en terrenos con abundancia de dicha vegetación.

Entre otros impactos originados por la edificación de instalaciones fotovoltaicas, se encuentran la generación de ruido y residuos. No obstante, al igual que en las centrales termoeléctricas, los niveles de ruido no son particularmente preocupantes y si el manejo adecuado de residuos es llevado a cabo correctamente, no habrá consecuencias negativas en el área del proyecto.

En la tabla 4.3. se muestran algunos efectos negativos de los proyectos solares, así como algunas medidas de mitigación recomendadas para su ejecución.[66][94]

| <b>Energía solar fotovoltaica</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Impactos negativos/<br/>Riesgos</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Medidas de mitigación</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de suelo, grandes extensiones son requeridas para los sistemas solares.</li> <li>• Reducción de tierras cultivables.</li> <li>• Afectación estética (impactos visuales).</li> <li>• Impacto en los ecosistemas (grandes centrales fotovoltaicas).</li> <li>• Uso de materiales tóxicos durante la construcción de los módulos.</li> <li>• Riesgos de salud derivados de la fabricación, uso y disposición de los módulos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación de proyectos fotovoltaicos en áreas aisladas y desiertas.</li> <li>• Evitar zonas con importancia ecológica y/o arqueológica.</li> <li>• Integración en grandes edificios comerciales (techos, fachadas).</li> <li>• Utilizar aisladores acústicos en zonas cercanas a carreteras y hospitales.</li> <li>• Diseño cuidadoso de los proyectos.</li> <li>• Integración de los paneles solares como elementos arquitectónicos en las construcciones.</li> <li>• Evitar el desarrollo de proyectos en zonas con alta belleza natural.</li> <li>• Adoptar las normas de seguridad existentes y buenas prácticas para evitar la liberación de materiales tóxicos y peligrosos.</li> <li>• Buenas prácticas de trabajo como el uso de guantes de protección, el uso de ropa adecuada durante la construcción y gafas de sol.</li> </ul> |

# **CAPÍTULO V**

## **ENERGIA SOLAR EN ZONAS RURALES**

## 5.1 LA IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES

La energía solar puede jugar un papel crucial en zonas rurales con acceso limitado a la red eléctrica. En estas zonas aisladas, la energía solar representa una alternativa viable y sostenible para satisfacer las necesidades básicas de iluminación y comunicación. Mediante de sistemas fotovoltaicos, los hogares, escuelas y centros de salud en zonas apartadas pueden obtener acceso a electricidad de manera fiable y asequible.[18]

La electrificación basada en energía solar mejora significativamente la calidad de vida de las comunidades rurales. Permite el uso de electrodomésticos que facilitan las tareas domésticas y la producción agrícola. También posibilita el almacenamiento y procesamiento de alimentos, así como el acceso a servicios de salud básicos. En el ámbito educativo, la energía solar favorece el aprendizaje a través de material didáctico y conectividad digital.

Además de los beneficios socioeconómicos, la energía solar es respetuosa con el medioambiente. Ayuda a reducir la tala de árboles para leña y contribuye a mitigar el cambio climático. Representa así una alternativa sostenible para llevar desarrollo a las comunidades más alejadas, cerrando la brecha energética entre zonas urbanas y rurales.[18]

- Las zonas rurales suelen estar situadas lejos de las redes eléctricas existentes, lo que hace que la ampliación de la red sea inviable debido a sus elevados costes. La energía solar distribuida proporciona una solución descentralizada.
- Los sistemas solares domésticos suelen incluir un panel solar, una batería e inversores/cargadores. Pueden alimentar luces, ventiladores, radios y cargadores de teléfonos móviles fácilmente.
- Las minirredes solares más grandes que combinan energía solar, baterías y generadores de respaldo pueden sustentar salones comunitarios, clínicas y escuelas. Permiten electrodomésticos adicionales como cargar una computadora portátil.
- El bombeo solar de agua subterránea permite el riego de cultivos. Combinado con secadores solares, ayuda a la producción y almacenamiento de alimentos en las aldeas rurales.

- Las lámparas solares aisladas reemplazan a las peligrosas y costosas lámparas de queroseno. Reducen la contaminación del aire interior y los riesgos de incendio en los hogares.
- Las torres de telecomunicaciones también emplean paneles solares como fuente de energía. Esto amplía la cobertura de la red y la conectividad móvil en ubicaciones remotas.
- Algunos países ofrecen planes de financiación para que los hogares rurales accedan a sistemas domésticos solares plug-and-play. Los subsidios ayudan al costo inicial.
- Las organizaciones no gubernamentales ayudan a establecer microservicios solares y brindan capacitación sobre mantenimiento y reparaciones. Esto impulsa el acceso a la energía de manera sostenible en el largo plazo.

En general, la energía solar distribuida brinda servicios energéticos críticos a poblaciones no electrificadas que viven lejos de las principales líneas eléctricas o de los centros urbanos. Desempeña un papel socioeconómico clave.

La energía solar fotovoltaica es una importante alternativa para llevar electricidad a zonas rurales aisladas que no cuentan con acceso a la red eléctrica convencional. Los sistemas fotovoltaicos permiten convertir la energía solar en electricidad de manera directa mediante paneles solares, lo que los hace ideales para usar en comunidades rurales alejadas de las ciudades. A continuación, veremos los beneficios de implementar sistemas solares fotovoltaicos en zonas rurales, así como ejemplos exitosos y recomendaciones para su diseño y uso.[83]

## **5.2 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES**

En zonas rurales, los problemas de suministro eléctrico pueden ser muy graves y limitar las oportunidades económicas e incluso la calidad de vida de los habitantes. Es aquí donde la energía solar se presenta como una excelente opción para brindar electricidad a comunidades rurales que carecen de acceso a la red eléctrica convencional. La energía solar es una alternativa sostenible y limpia que se genera a partir de la luz del sol y puede utilizarse para generar electricidad en áreas remotas.[99]

El uso de sistemas de energía solar puede mejorar significativamente la calidad de vida y las oportunidades económicas en comunidades rurales.

Uno de los principales beneficios es que la energía solar es una fuente de energía limpia y renovable. Las zonas rurales a menudo dependen de fuentes de energía no renovables, como el carbón y el petróleo, que pueden ser costosas y contaminantes. La energía solar, por otro lado, es limpia y no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la energía solar es una fuente de energía constante y fiable, lo que la hace especialmente adecuada para zonas rurales que pueden no tener acceso a una red eléctrica estable.

Otro beneficio importante de la energía solar es que puede ser una solución rentable para las comunidades rurales. Aunque puede ser costoso instalar sistemas solares, el costo a largo plazo puede ser mucho menor que el de los sistemas de energía tradicionales. Además, muchas comunidades rurales pueden aprovechar los incentivos gubernamentales y las subvenciones para reducir el costo de la instalación.[18]

La energía solar puede ofrecer muchos beneficios en zonas rurales donde el acceso a la electricidad es limitado o inexistente, algunos de estos beneficios son:

**Ahorro de costos:** La instalación de paneles solares y sistemas de almacenamiento de energía solar puede ser una opción más rentable a largo plazo que la conexión a la red eléctrica convencional.

**Accesibilidad:** La energía solar es una fuente de energía renovable que puede ser generada y almacenada en lugares remotos y de difícil acceso, lo que permite a las comunidades rurales acceder a la electricidad de manera más fácil y segura. Una vez instalados, los sistemas solares no requieren de combustibles fósiles para operar, sólo del mantenimiento básico de los paneles y baterías. Esto los hace más económicos a largo plazo que generadores diésel.

**Respetuosos con el medio ambiente:** No emiten contaminación ni gases de efecto invernadero al funcionar, a diferencia de plantas energéticas convencionales.

**Fiabilidad:** La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable que no depende de combustibles fósiles y no se ve afectada por cortes de energía o interrupciones

del suministro eléctrico. Esto hace que sea una fuente de energía confiable para las comunidades rurales.

**Desarrollo sostenible:** La energía solar es una forma de energía limpia y renovable que ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mitigar el cambio climático. También puede ayudar a mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales al proporcionar acceso a servicios básicos como iluminación y comunicación.

**Autonomía energética:** La energía solar permite a las comunidades rurales generar su propia electricidad, lo que les da mayor control sobre su suministro de energía y reduce su dependencia de los combustibles fósiles y las empresas de energía convencionales.

**Mejoramiento de la productividad:** El acceso a energía eléctrica a través de sistemas solares aumenta la productividad agrícola, pesquera y de pequeñas empresas.

**Incremento en servicios públicos:** La energía solar permite electrificar escuelas, centros de salud, acueductos comunitarios mejorando calidad de vida.

**Reduce la migración hacia ciudades:** Contribuye a fijar población en el medio rural.

**Impulso al desarrollo local:** La implementación de proyectos solares genera empleos locales directos e indirectos en áreas como manufactura, instalación, operación y mantenimiento, lo que puede ayudar a estimular la economía local y mejorar el bienestar de la comunidad. [20][32][92][101]

### 5.3 ¿CÓMO LA ENERGÍA SOLAR PUEDE SER IMPLEMENTADA EN ZONAS RURALES?

La energía solar puede ser una excelente solución para abastecer de electricidad a zonas rurales que se encuentran alejadas de la red eléctrica tradicional. A continuación, te presento algunas maneras en que la energía solar puede ser implementada en zonas rurales[31]:

1. Instalación de paneles solares en viviendas: Los paneles solares pueden ser instalados en las casas de las personas en zonas rurales para que puedan generar su propia electricidad. Estos paneles pueden ser conectados a baterías para almacenar la energía y usarla en momentos en los que el sol no está presente.
2. Instalación de paneles solares en escuelas y centros de salud: La energía solar también puede ser utilizada para abastecer de electricidad a escuelas y centros de salud en zonas rurales. Esto les permitiría tener acceso a iluminación, equipos médicos y tecnológicos, y otras comodidades básicas.
3. Implementación de sistemas de bombeo de agua: La energía solar también puede ser utilizada para hacer funcionar bombas de agua en zonas rurales. Esto es especialmente importante para comunidades que dependen del agua de pozos o ríos cercanos.
4. Creación de mini-redes solares: En algunas zonas rurales, puede ser más efectivo y eficiente crear mini-redes solares que abastezcan a varias casas y edificios cercanos. Estas mini-redes pueden ser gestionadas por las mismas comunidades y pueden permitir una mayor eficiencia en la generación y distribución de la energía solar.

En resumen, la energía solar puede ser implementada en zonas rurales de diversas maneras, ya sea a través de la instalación de paneles solares en casas, escuelas y centros de salud, la creación de sistemas de bombeo de agua o la creación de mini-redes solares. Esto puede ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas en estas zonas al proporcionarles acceso a electricidad de manera sostenible y económica.[31]

#### **5.4 PUNTOS CLAVE SOBRE LAS TECNOLOGÍAS SOLARES MÁS ADECUADAS PARA ZONAS RURALES**

- Sistemas fotovoltaicos aislados: Paneles solares combinados con baterías de almacenamiento para usuarios individuales. Son sencillos de instalar y mantener.
- Sistemas fotovoltaicos comunitarios: De mayor potencia (5-50 kW) para electrificar escuelas, centros de salud u otros servicios compartidos.
- Mini redes solares: Pequeñas redes interconectadas de generadores distribuidos con baterías para suministro eléctrico confiable a varios hogares.
- Bombas de agua solares: Sistemas fotovoltaicos diseñados específicamente para bombeo de agua a pequeña escala, principalmente para riego.

- Kits solares domésticos: Sistemas pre-empaquetados y de bajo costo con 2-10 paneles, carga controlada y lámparas LED para iluminación básica.
- Alumbrado público solar: Luminarias solares autónomas para calles, parques u otros espacios de la comunidad.
- Cocinas solares: Hornos, calentadores u ollas diseñadas para cocinar con energía solar concentrada.
- Energía solar térmica: Captación de calor para agua caliente, climatización de espacios o procesos industriales.

La tecnología debe ajustarse a las necesidades, recursos y contextos específicos de cada comunidad rural. [12][89]

## **5.5 FOMENTO DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LAS ZONAS RURALES**

Existen múltiples iniciativas y proyectos de capacitación que se concentran en mejorar el uso de la energía solar a través de la capacitación en instalación y mantenimiento de sistemas[39]:

- Organizaciones como la FAO, ONUDI, AECID, GEF ofrecen cursos prácticos de instalación y reparación básica de paneles, reguladores, baterías, etc. Suelen estar dirigidos a técnicos comunitarios.
- Muchas ONG ambientalistas territoriales imparten charlas y talleres sobre sistemas solares para población rural.
- Algunos gobiernos tienen programas de capacitación a pobladores rurales, como monitores solares comunitarios, para dar soporte técnico básico.
- Universidades suelen contar con carreras técnicas o diplomaturas enfocadas en energías renovables, donde se incluyen módulos prácticos sobre fotovoltaica.
- Existen cursos online gratuitos de corta duración sobre sistemas fotovoltaicos ofrecidos por instituciones como el CENER.
- Empresas instaladoras imparten seminarios para fomentar el autoconsumo solar en el sector agropecuario.
- Ferias y exposiciones descentralizadas permiten a pobladores rurales informarse sobre tecnología solar y asistir a demostraciones prácticas.

## **5.6 ESTRATEGIAS PARA EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Algunas de las estrategias más comunes que se han implementado para garantizar el mantenimiento y la durabilidad de los sistemas fotovoltaicos en zonas rurales son[71]:

- Capacitación a técnicos y monitores solares de las propias comunidades, quienes dan el primer servicio de mantenimiento.
- Designación de responsables locales por subsistema (paneles, controladores, baterías) para su revisión periódica.
- Manuales y protocolos de operación y mantenimiento simples en lenguaje coloquial.
- Simulacros y rutinas de chequeo programadas con los técnicos locales.
- Stock mínimo de piezas de repuesto almacenadas localmente.
- Servicios técnicos móviles periódicos de empresas instaladoras o asociaciones de ER.
- Financiamiento comunitario para fondos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Garantías extendidas por parte de fabricantes o aseguradoras de equipos.
- Monitoreo remoto vía SMS o GSM de parámetros energéticos para detección temprana de fallas.
- Convenios interinstitucionales que aseguren la gestión técnica y financiera a largo plazo.
- Programas de reciclaje y reutilización de piezas cuando los sistemas se renuevan.
- La participación activa de la comunidad es clave para la sostenibilidad de los proyectos fotovoltaicos rurales.

( Photovoltaic Systems de Jim Dunlop. "Maintenance of Photovoltaic Systems" Capítulo 2. Editorial Springer (2018) )[71].

## **5.7 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y EMPRENDIMIENTOS**

Tipos de actividades productivas y emprendimientos que se podrían impulsar en zonas rurales con acceso a energía solar[32][96]:

- Agricultura: Riego por goteo, secado y procesamiento de cosechas, invernaderos, iluminación de cultivos.
- Ganadería: Refrigeración de leche, bombas para bebederos, cercos eléctricos.
- Pesca: Iluminación y navegación nocturna, refrigeración y procesamiento de capturas.
- Artesanías: Telares, carpintería, alfarería, herrería.
- Alimentación: Molinos, procesamiento de cereales, panadería, conservas.
- Servicios: Cargado de celulares, internet, impresión, servicio veterinario.
- Turismo comunitario: Alojamiento, restaurantes, ecoturismo, guías locales.
- Educación: Bibliotecas, talleres, capacitación técnica, informática.
- Salud: Refrigeración de vacunas, bombeo de agua, partos asistidos.
- Comercio: Minimercados, ferreterías, abasto de insumos, acopio.

El impulso a emprendimientos sostenibles mejora los ingresos y calidad de vida en zonas rurales.

## **5.8 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS QUE PUEDEN VINCULARSE A SISTEMAS SOLARES FUERA DE LA RED EN ZONAS RURALES**

- Bombeo de agua: las bombas solares pueden proporcionar riego para cultivos/ganado o agua potable.
- Enfriamiento de leche: la refrigeración solar ayuda a preservar la calidad de la leche y el valor de mercado para los productores de leche.
- Fabricación de hielo: los congeladores solares producen bloques de hielo para la conservación de pescado/carne o para enfriar vacunas comunitarias.
- Servicios de carga: las pequeñas tiendas pueden cargar teléfonos/linternas utilizando minirredes solares, generando ingresos.
- Soldadura/metalurgia: las microempresas solares ofrecen servicios de soldadura y fabricación de metales a los aldeanos.
- Carpintería: las herramientas de energía solar, como taladros y sierras, permiten realizar negocios de carpintería y artesanía.
- Molienda de sorgo: las fresadoras solares procesan los granos de manera eficiente, liberando tiempo a las mujeres.
- Apicultura: cercas solares y extractores de miel apoyan la producción de miel y los servicios de polinización.

- Panaderías: los hornos comunitarios funcionan con energía solar térmica para hornear pan y pasteles con ingredientes locales.
- Instalaciones turísticas: microrredes solares gestionan casas de huéspedes, restaurantes y puntos de acceso Wi-Fi en áreas naturales fuera de la red.

La integración de usos productivos junto con la iluminación/conectividad básica maximiza los impactos socioeconómicos de los proyectos solares rurales.

(Guía, D., González, J., & Rojas, R. (n.d.). Desarrollo de proyectos de emprendimiento con apoyo de energía solar en agricultura. Fch.Cl.)( Castro, C. (2023).)[12][45].

## **5.9 FORMAS EN QUE SE PUEDE UTILIZAR LA ENERGÍA SOLAR PARA MEJORAR LOS RESULTADOS DE SALUD EN ALDEAS REMOTAS**

- Alimentar refrigeradores de vacunas para almacenar vacunas a temperaturas adecuadas y ampliar la cobertura de inmunización. Los refrigeradores solares garantizan que las vacunas no se echen a perder.
- Administrar clínicas médicas, laboratorios y almacenar medicamentos que necesitan un suministro de energía constante. Esto mejora la disponibilidad de la atención primaria de salud.
- Habilitación de la telemedicina a través de dispositivos cargados con energía solar. Los diagnósticos remotos y las consultas electrónicas pueden ayudar a abordar la escasez de médicos.
- Iluminar las instalaciones de salud para permitir servicios médicos las 24 horas, los 7 días de la semana. Las linternas solares y los kits de iluminación para el hogar mejoran las emergencias.
- Alimentar equipos de atención neonatal, como incubadoras, en aldeas sin red eléctrica confiable. Esto reduce la mortalidad infantil.
- Utilizar bombas de agua limpia y sistemas de purificación para mitigar las enfermedades transmitidas por el agua que se propagan a través del agua y el saneamiento contaminados.
- Carga de equipos médicos para partos, pruebas de diagnóstico y otras necesidades de atención primaria a través de sistemas solares fotovoltaicos.
- Alimentación de equipos de esterilización mediante energía solar térmica para garantizar la higiene en procedimientos médicos y partos.

- Facilitar clínicas móviles y transporte de pacientes a través de vehículos eléctricos cargados por minirredes solares.

Por lo tanto, la energía solar confiable es un factor fundamental para lograr la atención médica universal en comunidades remotas y fuera de la red (INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México) (2012)-[52].

## **5.10 DESARROLLO SOSTENIBLE Y USO RESPONSABLE DE RECURSOS**

La energía solar facilita la autosuficiencia energética en las comunidades rurales, lo que reduce la dependencia de empresas y gobiernos externos para el suministro de electricidad. Este enfoque no solo beneficia a la comunidad, sino que también promueve el desarrollo de habilidades y conocimientos locales necesarios para la instalación y mantenimiento de sistemas solares.

Además, la energía solar se presenta como una alternativa más económica y viable en comparación con las fuentes de energía convencionales en áreas rurales, ya que requiere menos inversión en infraestructura y ofrece menores costos de mantenimiento a largo plazo. La adopción de sistemas solares puede disminuir significativamente los gastos energéticos para hogares y negocios locales, mejorando así la calidad de vida y fomentando el desarrollo económico en la región. Es crucial mencionar que la energía solar es una herramienta valiosa para impulsar el desarrollo sostenible y el uso responsable de los recursos, ya que se trata de una fuente de energía limpia y renovable que no genera emisiones de gases de efecto invernadero ni contamina el aire.

Por último, la implementación de sistemas solares en comunidades rurales puede favorecer el desarrollo económico y la creación de empleo, ya que se requiere un conjunto de habilidades técnicas y operativas para instalar y mantener estos sistemas. Esto puede generar oportunidades laborales y fomentar habilidades especializadas en las comunidades, contribuyendo así al progreso a largo plazo.

## **5.11 POTENCIAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL Y ACCESO A SERVICIOS BÁSICOS**

La energía solar puede impulsar la autosuficiencia energética en comunidades rurales al ofrecer una fuente de electricidad fiable e independiente. Además, su implementación puede disminuir los costos en las facturas de electricidad y otros gastos vinculados al uso de fuentes de energía convencionales. Esto puede tener un efecto positivo en la economía local, generando empleos y fomentando el desarrollo económico.

Al mismo tiempo, la energía solar beneficia al medio ambiente al producir energía limpia y sostenible.

En resumen, los beneficios de la energía solar en áreas rurales son variados y significativos. No solo mejora la calidad de vida y la autosuficiencia energética, sino que también promueve un uso responsable de los recursos naturales y reduce las emisiones. Tiene el potencial de contribuir a la transición hacia una economía más sostenible, comprometida con la protección del medio ambiente. Además, la instalación de sistemas solares en comunidades rurales puede mitigar los costos y desafíos relacionados con la infraestructura eléctrica convencional, facilitando el acceso a servicios básicos como iluminación y carga de dispositivos electrónicos en zonas que carecen de electricidad. [12][81].

## **5.12 PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RURALES EN EL MUNDO**

- India: En los últimos años ha llevado energía solar a cientos de pueblos aislados a través del programa "Solar Home Lighting Systems". Ha permitido iluminar casas y comunidades enteras con sistemas de bajo costo.
- África subsahariana: Países como Kenia, Uganda y Tanzania cuentan con numerosos proyectos solares fotovoltaicos apoyados por organizaciones no gubernamentales. Estos proveen de energía a escuelas, centros de salud y pequeñas empresas.
- Sistema solar comunitario de Okinawa, Japón: Un sistema de 150 kW que sirve a 150 hogares rurales desde 2004. Ha permitido un ahorro significativo en costos de energía.
- Proyecto solar rural en Uganda: Instalación de sistemas solares domésticos y productivos pequeños en 62 aldeas aisladas. Mejoró calidad de vida e impulsó actividades económicas.
- Electrificación solar de escuelas en Filipinas: Proyecto del Banco Mundial que llevó energía solar a más de 500 escuelas rurales sin acceso a la red eléctrica.
- Aldea solar en Bangladesh: Pueblo de 1500 habitantes 100% energizado por un sistema híbrido solar-diésel de 500 kW. Se convirtió en modelo de desarrollo rural sostenible.
- Parque solar Kalondji, Bolivia: Sistema fotovoltaico comunitario de 1,2 MW instalado en 2008 que beneficia a miles de familias rurales.

- Proyecto DESI Power, India: Empresa social que ha desplegado sistemas solares domésticos y comunitarios mejorando la vida de más de 100.000 personas rurales.
- América Latina: En países como Perú, Chile y México también se han realizado con éxito instalaciones solares en zonas apartadas de la Amazonía, la Patagonia y el norte desértico respectivamente. Esto permite a comunidades indígenas contar con energía renovable.
- Perú: Se han instalado sistemas solares en más de 1,200 centros poblados de zonas alejadas de los Andes y la Amazonía. Ayudan a electrificar escuelas, centros de salud y viviendas.
- Brasil: En el noreste semiárido se usa energía solar para bombeo de agua, purificación, refrigeración y otros usos agroindustriales. También para electrificar comunidades indígenas.
- Bolivia: En el Altiplano y zonas altas de Los Yungas más de 3,000 familias han sido beneficiadas con kits solares individuales que les permiten iluminación y carga de equipos.
- Colombia: En áreas apartadas de la Guajira, Caquetá, Putumayo y Amazonas se han establecido minigrids solares para centros poblados de hasta 500 habitantes, con iluminación LED y radio comunicación.
- Ecuador: En la Amazonía ecuatoriana se usa energía solar para pequeñas industrias, saneamiento de agua, refrigeración de alimentos y comunicaciones en zonas aisladas.
- Chile: Se emplea en alimentación de escuelas y centros de salud en la zona austral y el norte desértico, con componentes nacionales. (Referencias de proyectos. (n.d.). Solargis.com. Retrieved December 8, 2023 )<sup>[77]</sup><sup>[90]</sup>.

### **5.13 PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN ZONAS RURALES EN MÉXICO**

- Sistema fotovoltaico Pichilingue, Baja California Sur: Instalado en 1996, provee energía a 250 familias de la comunidad pesquera de Pichilingue mediante un sistema de 57 kW.
- Aldea solar de Acahualtempa, Chiapas: Instalada en 2012, dotó de energía a 94 viviendas usando paneles solares y baterías. Mejoró calidad de vida y servicios básicos.
- Chiapas: Sembrando Energía instaló sistemas solares en 8 comunidades Tzotziles y Zoques aisladas de los altos chiapanecos. Con paneles de 100W que cargan baterías para lámparas LED.

- Sistema Kalk'in, Yucatán: Inaugurado en 2014, suministra energía a través de paneles fotovoltaicos a comunidades mayas en Calotmul.
- Parque solar El Tepeyac, Guanajuato: Sistema de 1 MW inaugurado en 2016 que abastece energía a tres comunidades rurales de Juan Mendoza.
- Fotografía voltaica Coahuayutla, Michoacán: Instalado en 2018, provee energía solar a 93 viviendas y negocios de esta comunidad purépecha.
- Aldea solar Armando López, Oaxaca: Estrenada en 2019, llevó energía renovable a 120 viviendas mediante un sistema comunitario de 150 kW.
- Triqui, Oaxaca: En 14 comunidades de esta etnia se usa energía solar para bombero, refrigeración y otras tareas. Mejoró la producción agropecuaria y se creó el mercado de instalación y mantenimiento por pobladores locales.
- Sierra Norte de Oaxaca: Desde 2010 la organización Energía para el Desarrollo instaló paneles solares en más de 20 comunidades aisladas de la región, con capacidades de 1-5 kW. Abastece de luz y comunicación a escuelas y centros de salud.
- Rancherías de Sonora: El Instituto de Ecología apoyó mini redes solares en 50 localidades rurales del estado, para iluminación vial y domiciliaria. También en clínicas y escuelas, con capacidades de 1-3 kW.

Estos son algunos ejemplos representativos de cómo la energía solar ha llevado servicios básicos a poblados rurales mexicanos, en su mayoría habitados por grupos indígenas. (Power for Development: A Review of the World Bank Group's Experience with Rural Electrification" (World Bank, 2009) [72].

#### **5.14 DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES**

- Tamaño de la instalación: Depende de la demanda energética, número de usuarios y disponibilidad de radiación solar en la zona. Un sistema típico puede ir desde 2 kW hasta 20 kW de capacidad.
- Tipo de paneles: En climas cálidos y soleados se recomiendan paneles de silicio cristalino. En otras zonas térmicos o de poca luz funcionan bien otros materiales como el CIGS "Copper indium gallium selenide".
- Almacenamiento: Se requiere de baterías para almacenar la energía generada y poder usarla de noche. Se eligen baterías de plomo-ácido, litio o de otros tipos según los requerimientos.
- Reguladores: Permite cargar correctamente las baterías y proteger los componentes de sobrecargas o descargas profundas.

- Inversores: Convierte la corriente continua de las baterías a corriente alterna para poder utilizarla en aparatos eléctricos domésticos de CA.
- Montaje estructural: Se deben elegir estructuras resistentes a condiciones climáticas que permitan el correcto soporte de los paneles y componentes.
- Mantenimiento: Se requiere revisión periódica de los componentes, aseo de los paneles y reposición de baterías según su vida útil. ( Delfin Cota, A. A., Westinghouse, P. (2021) [24].

### **5.15 USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA “GIS” EN PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES O LIMPIAS**

Los sistemas de información geográfica, conocidos como “GIS”, son herramientas muy útiles en proyectos de energías renovables o limpias, ya que permiten evaluar el potencial de recursos como sol, viento o biomasa en territorios específicos. Algunas formas en que se usan los GIS son:

- Mapeo del recurso: Al analizar variables como la irradiación solar, la velocidad del viento y la ubicación de cultivos, se pueden identificar las áreas con mayor potencial.
- Selección de sitios: Mediante el uso de capas geoespaciales, se evalúan las áreas más adecuadas considerando factores como la accesibilidad, la propiedad de la tierra y posibles interferencias.
- Modelado de producción: Los GIS permiten estimar la generación esperada de plantas solares, eólicas o de biomasa basado en modelos físicos y datos históricos.
- Diseño de infraestructura: Ayudan a planificar la ubicación óptima de equipos y el trazado de líneas de transmisión eléctrica o ductos para biogás.
- Simulación y análisis de impacto: Son útiles para simular diferentes escenarios y evaluar factores como las emisiones evitadas, el área necesaria y el costo-beneficio.
- Monitoreo y Medición: Con sistemas GIS se pueden registrar datos en tiempo real de generación y desempeño de centrales renovables.

De esta manera, los GIS se convierten en una herramienta fundamental para la planificación, desarrollo y operación eficiente de proyectos de energías limpias. [36][40][79].

## **5.16 PAÍSES EN DESARROLLO QUE HAN UTILIZADO LOS SIG PARA PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES**

India: El gobierno utilizó el mapeo con SIG para identificar más de 25,000 aldeas adecuadas para la implementación de minirredes solares, lo que permitió priorizar los proyectos de electrificación.

Tanzania: Una ONG dedicada al riego solar llevó a cabo un mapeo para determinar los sitios más adecuados para sistemas de bombeo de agua, basándose en el análisis del terreno, los tipos de suelo y la proximidad a las granjas.

Kenia: La empresa nacional de geotermia empleó análisis SIG para localizar nuevas instalaciones solares cerca de líneas de transmisión ya existentes, con el fin de reducir los costos de distribución.

México: Un gobierno estatal utilizó modelos SIG para identificar 50 escuelas rurales que contaban con techos adecuados y el aislamiento necesario para la instalación de paneles solares.

Perú: Una ONG mapeó centros comunitarios en la región amazónica utilizando datos demográficos e imágenes satelitales en SIG, lo que facilitó el diseño de un proyecto de microrred solar fuera de la red eléctrica.

Brasil: Investigadores emplearon un software SIG de código abierto para combinar datos sobre radiación solar y demografía, proponiendo ubicaciones específicas para la instalación de sistemas solares domésticos.

Marruecos: La agencia nacional de energías renovables colaboró con una universidad para analizar la idoneidad de los SIG en el desarrollo de plantas fotovoltaicas en aldeas remotas, que están lejos de la infraestructura de transmisión.

Afganistán: El PNUD creó un atlas solar nacional que utiliza datos y análisis geoespaciales para apoyar la planificación de electrificación en áreas rurales.

En conclusión, los SIG han demostrado ser herramientas esenciales para mejorar la planificación y localización de proyectos solares en áreas rurales de países en desarrollo, adaptándose a diversos contextos geográficos y demográficos [12][67].

#### **5.17 GIS PARA PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR EN ZONAS RURALES DE MÉXICO**

- Evaluación del potencial solar rural en Oaxaca: Se mapearon áreas con radiación solar superior a los 5 kWh/m<sup>2</sup>/día usando SIG para identificar sitios viables.
- Diseño de sistema híbrido en Chiapas: Se consideraron factores como disponibilidad del recurso solar, distancias a poblados y áreas protegidas mediante SIG para planificar central fotovoltaica-diésel.
- Electrificación de escuelas en Guerrero: Se benefició a 42 centros educativos aislados seleccionando los sitios más apropiados para paneles solares usando herramientas geoespaciales.
- Sistema para comunidad purépecha en Michoacán: Mediante SIG se identificó que el techo de la escuela local contaba con suficiente espacio e infraestructura para alojar los paneles solares.
- Plan de zonificación agropecuaria y energética en Yucatán: Se realizó un diagnóstico territorial con SIG para determinar áreas aptas para proyectos fotovoltaicos adyacentes a zonas ganaderas.
- Mapeo de micro redes solares en BCS: Se usaron SIG para mapear techos e instalaciones públicas con capacidad de albergar sistemas solares diseminados que abastecerían zonas rurales aisladas.[77]

**CAPÍTULO VI**  
**MARCO NORMATIVO Y REFORMA**  
**ENERGÉTICA EN MÉXICO**

## **6.1 EL ACCESO A ENERGÍA LIMPIA Y RENOVABLE EN MÉXICO**

En la actualidad, el acceso a energía limpia y renovable es un tema de creciente importancia en todo el mundo, y México no es la excepción. La diversificación de las fuentes energéticas, la reducción de las emisiones contaminantes y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles son temas prioritarios en la agenda política y ambiental del país. En este ensayo, se discutirán los avances, los desafíos y las perspectivas del acceso a energía limpia y renovable en México.[75]

México cuenta con una posición geográfica inmejorable para el aprovechamiento de diversas fuentes de energías renovables. La abundancia de sol y viento hace del territorio mexicano un lugar propicio para el desarrollo de proyectos solares y eólicos. Además, México tiene un gran potencial geotérmico, hidroeléctrico y biomasa que aún no se ha explotado completamente.

En los últimos años, se han logrado avances significativos en el ámbito de las energías limpias en México. Se ha incrementado la inversión en este sector, tanto nacional como extranjera, lo que ha permitido la construcción de parques eólicos y solares en diferentes regiones del país. Estos proyectos no solo generan energía limpia, sino que también crean empleo y alientan el desarrollo local.

México ha establecido objetivos claros para aumentar la participación de las energías renovables en su matriz energética. Según la "Ley de Transición Energética"[75], se espera que al menos el 35% de la generación eléctrica provenga de fuentes limpias para el año 2024 y el 50% para el 2050. Estas metas son ambiciosas y requieren de políticas públicas sólidas y efectivas, así como la colaboración de diferentes sectores.[75]

Sin embargo, todavía existen desafíos importantes en el camino hacia un mayor acceso a energía limpia y renovable en México. La infraestructura energética es un factor clave para garantizar la distribución y el aprovechamiento eficiente de este tipo de energía. El país necesita más inversiones en redes de transporte y distribución para evitar pérdidas eléctricas y asegurar que la energía generada llegue a los hogares y empresas.

Por otro lado, aunque hay un mayor interés por parte del sector privado en invertir en proyectos de energías renovables, aún se requiere una mayor participación por parte del gobierno. Además, es fundamental trabajar en la educación y concienciación de la población sobre la importancia del uso responsable de energía y el impacto positivo del aprovechamiento de energías renovables en la reducción de emisiones contaminantes y el cuidado del medio ambiente, particularmente la solar y eólica.

El acceso a energía limpia y renovable en México es un tema de gran importancia en la actualidad, debido a la creciente preocupación por el medio ambiente y la necesidad

de encontrar fuentes de energía sostenibles. La energía renovable no sólo se considera un componente esencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también puede contribuir enormemente al desarrollo económico del país.

En México, el potencial para generar energía a partir de fuentes limpias y renovables es significativo. Cuenta con una gran cantidad de recursos naturales como el sol, el viento, el agua y la biomasa, que pueden ser aprovechados para generar electricidad de manera sostenible. A pesar de este enorme potencial, todavía hay muchos desafíos y barreras que enfrenta el país para impulsar la adopción y aumentar la inversión en tecnologías de energía limpia. [75]

Uno de los principales retos en México es la falta de infraestructura adecuada para soportar y distribuir eficientemente la energía generada a partir de fuentes renovables. La red eléctrica actual ha sido diseñada principalmente para distribuir energía generada por centrales termoeléctricas utilizando combustibles fósiles como el petróleo y gas natural. Por lo tanto, se requiere una reestructuración significativa y una actualización en la infraestructura eléctrica para lograr un suministro estable y confiable de energía procedente de fuentes renovables.

Además, otro desafío importante es la falta de inversión en el sector. Aunque ha habido avances en políticas públicas en los últimos años con el objetivo de promover las energías limpias y renovables, la inversión sigue siendo insuficiente en comparación con las necesidades para desarrollar y expandir esta industria. Los altos costos iniciales de las instalaciones y la falta de incentivos fiscales, así como el bajo precio de los combustibles fósiles, desaniman a los inversores privados a apostar por proyectos de energía limpia.[75]

Por otro lado, también es crucial abordar la falta de conciencia pública sobre la importancia y los beneficios de la adopción de fuentes de energía renovable. A través de campañas educativas y programas de divulgación, se puede lograr un mayor apoyo ciudadano y compromiso en el uso racional y eficiente del consumo energético.

Para superar estos desafíos, es importante que se establezcan políticas gubernamentales favorables que promuevan un marco regulatorio sólido e incentivos económicos para la inversión en proyectos de energía renovable.

## 6.2 CONTEXTO ACTUAL EN MÉXICO

La generación de energía a nivel mundial está en transición hacia las energías renovables, convirtiéndose en un tema prioritario en las agendas energéticas, las cuales compiten cada vez más con los combustibles fósiles predominando el carbón, gas natural y el petróleo, que están provocando consecuencias hacia el cambio climático representando retos económicos, sociales y ambientales.[85]

Las energías renovables están ocupando un lugar cada vez más importante en el panorama energético y económico global. Tanto los países desarrollados como los que están en vías de desarrollo están modificando sus políticas energéticas para fomentar tecnologías que impulsen el crecimiento económico y satisfagan las necesidades de sus poblaciones. Las tecnologías que permiten el uso de energías renovables son las que están mostrando la mayor tasa de crecimiento a nivel mundial. México no es la excepción; en la última década y con la reforma energética en marcha, se ha promovido el desarrollo del sector energético. Actualmente, hay diez empresas privadas principales dedicadas a la producción de energía renovable, que venden tanto a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como a productores directos, así como equipos de producción a empresas y particulares.[85]

México ha comenzado a diversificar los combustibles utilizados en la generación de electricidad. El uso intensivo de combustibles fósiles tiene repercusiones en la seguridad energética, debido a la volatilidad de precios y disponibilidad, así como en el medio ambiente por las emisiones de gases de efecto invernadero y en la salud.

Por esta razón, recientemente se han implementado diversas políticas, leyes, reglamentos y normativas en México para promover un uso más eficiente de los recursos no renovables y aumentar la adopción de fuentes de energía con menor impacto ambiental, como las energías renovables. En este contexto, la energía solar podría desempeñar un papel significativo. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) es un organismo público descentralizado de la administración pública federal, que forma parte de la Secretaría de Energía (SENER). Tras la Reforma Energética, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2014, se le otorgaron facultades a CENACE como administrador del Mercado Eléctrico Mayorista, encargado de mantener el control operativo del suministro de electricidad mediante el uso de la planta de menor costo. Además, CENACE tiene la responsabilidad de planificar la expansión de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución [85].

La Reforma energética busca aprovechar los recursos energéticos del país de forma racional, sustentable y con apego a la eficiencia económica y bienestar social teniendo como finalidad atraer inversionistas y modernizar el sector energético. Tradicionalmente las principales fuentes de generación de energía eléctrica eran las centrales de combustión interna, ciclo combinado, carbón, turbogas, dual (carbón – combustóleo) las cuales tienen un impacto negativo mayor al medio ambiente liberando gases de efecto invernadero.[64]

Los combustibles fósiles han representado una base del desarrollo económico del mundo, sin embargo, a partir de la de los 80's cuando la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) de las Naciones Unidas presentó el informe “Nuestro Futuro Común”, conocido también como “Informe Braundtland”( Informe Brundtland. (n.d.). Principios del desarrollo sostenible.)[54] en el que se acuña el término del desarrollo sustentable. En dicho informe se busca un desarrollo respetuoso del medio ambiente y un desarrollo que no sacrifique los derechos de las generaciones futuras. Con el objetivo de reducir los riesgos inherentes a la dependencia de los hidrocarburos y la convicción de incorporar el concepto de sustentabilidad en las políticas y estrategias del sector energético, las acciones en materia de transición energética se agrupan en eficiencia energética y energías renovables. [54]

### **6.3 MÉXICO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Los impactos negativos que ha tenido el cambio climático sobre la sociedad han despertado la inquietud de las naciones por tomar las medidas correspondientes para hacer frente a este problema, pues de no ser así, los estragos podrían ser devastadores. En México, se ha reconocido la necesidad de participar en acciones e iniciativas enfocadas a mitigar los efectos del cambio climático y en la construcción de sociedades capaces de responder de manera responsable a éstos a través de estrategias y proyectos de adaptación. Un paso relevante en México para encarar el cambio climático fue la publicación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en el año 2012, con lo cual se convirtió en el primer país subdesarrollado en contar con una legislación de tal índole. En términos generales, la LGCC establece las bases para actuar de acuerdo a dos ejes rectores: mitigación y adaptación al cambio climático; las acciones de mitigación incluyen el desarrollo de instrumentos que regulen las emisiones de GEI, como el Inventario Nacional de Emisiones y el Registro Nacional de Emisiones, y económicos que faciliten el desarrollo de proyectos, como el Fondo para el Cambio Climático. Las medidas de adaptación, propuestas en dicha ley, tienen por objetivo la creación de instrumentos que permitan elaborar diagnósticos

que marquen la pauta para el desarrollo de instrumentos de planificación urbana y prevención de desastres naturales [73]. Sumado a lo anterior, la LGCC busca la participación de México en las negociaciones internacionales a través de la implementación de tratados y protocolos que sean acordes a las iniciativas nacionales. Por otra parte, con la creación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y del Sistema Nacional de Cambio Climático y el fortalecimiento de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático se define un nuevo marco institucional a la vez que se incluye a la sociedad científica, civil, privada y al gobierno en la política nacional.[73]

Actualmente, la Ley General de Cambio Climático “LGCC” es la base sobre la cual se sustenta la política climática en México.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND)[73], en los ejes “México en Paz” y México Próspero”, se incluyen los principales objetivos por medio de los cuales se buscarán disminuir los riesgos sociales y económicos derivados del cambio climático. Resultado de los objetivos y líneas de acción propuestos en el PND y de la LGCC, surge el Programa Especial de Cambio Climático 2013-2018 (PECC), para establecer estrategias y líneas de acción a corto plazo. El PECC está enfocado en la reducción de la vulnerabilidad en los sectores sociales y económicos y en el aumento de su resiliencia y en el fortalecimiento de las estrategias nacionales, así como en la conservación, restauración y manejo sustentable de los ecosistemas para garantizar la adaptación y mitigación al cambio climático [73]. A través de este enfoque se promueve el fortalecimiento de capacidades institucionales y de la población, así como el diseño, priorización e implementación coordinada de acciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas y el reconocimiento de que la prevención tiene un costo menor a la atención del desastre. La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) visión 10-20-40, al igual que el PECC, se deriva de la LGCC, sin embargo, su alcance es a largo plazo. La ENCC es un instrumento de planeación que busca promover el desarrollo sostenible y bajo en emisiones GEI en el país con el uso de energías renovables y limpias y el manejo responsable de los recursos naturales. El objetivo central de la Estrategia es lograr la colaboración de todos los niveles de gobierno para orientar de manera correcta las líneas de acción y ejes estratégicos y, en consecuencia, transitar hacia una economía sustentable y baja en emisiones al tiempo que se cumple con los objetivos a nivel internacional.

## 6.4 LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA CLIMÁTICA MEXICANA

- Sustentabilidad en el aprovechamiento o uso de los ecosistemas y recursos naturales.
- Prevención de los daños al medio ambiente y preservación del equilibrio ecológico.
- Integralidad y transversalidad al adoptar un enfoque de coordinación y cooperación entre órdenes de gobierno, así como con los sectores social, público y privado. Villareal, T., & Tornel, C. (2017, noviembre).[98]

A nivel nacional, también han sido elaborados los programas sectoriales, en los cuales se plantean las acciones ante el cambio climático que habrán de emprender la distintas Secretarías .[98]

En lo que respecta al nivel subnacional, se ha logrado la colaboración de la comunidad científica y de las entidades federativas para la elaboración de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC). Los PEACC son instrumentos que sustentan el diseño de políticas de cambio climático a nivel estatal y municipal. La Ciudad de México (antes Distrito Federal) y los estados de Chiapas, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Puebla y Tabasco, entre otros, cuentan con su PEACC mientras que los estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche firmaron, en el 2010, la Declaratoria para la Acción Conjunta ante el Cambio Climático en la Península de Yucatán para desarrollar acciones de mitigación y adaptación(Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024)[76].

El objeto común de los arreglos institucionales, estrategias y programas, mencionados con anterioridad, es la promoción de una economía sostenible y baja en emisiones así como el impulso de energías renovables y limpias en el país , sin embargo, las emisiones en el sector energía, uno de los más importantes para la economía nacional, continúan siendo altas por lo que es necesario el planteamiento de nuevas acciones que permitan disminuir el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y encontrar alternativas que coincidan con las metas propuestas. En el siguiente apartado se hace un breve análisis del sector energético, con un enfoque en la producción de energía, para conocer su situación actual y cómo puede desarrollarse teniendo bajas emisiones y manteniendo su eficiencia y alinearse con la política de cambio climático nacional. (Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024)[98].

La importancia de la transición a fuentes de energía renovables es vital para la funcionalidad y las actividades económicas de una sociedad. Es crucial alejarse de los combustibles fósiles y acercarse a opciones energéticas más limpias, como las energías renovables. Aunque puede preocupar el coste de esta transición, numerosas asociaciones han demostrado que aportan numerosos beneficios, como la creación de empleo, el aumento de la independencia energética y el ahorro.[64] Sin embargo, la transición debe estar respaldada por políticas energéticas que den prioridad a la satisfacción de las demandas sociales y, al mismo tiempo, aborden las preocupaciones medioambientales. El Consejo Mundial de la Energía ha introducido el concepto del "Trilema Energético Mundial" para orientar la transición, que se centra en equilibrar la sostenibilidad medioambiental, la seguridad energética y la equidad (World Energy Council. (2018)) [100].

## **6.5 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL**

La sostenibilidad refiere a la posibilidad de una acción de prolongar de manera indefinida una actividad, mientras que el término de sostenibilidad ambiental pone en énfasis que una actividad además de ser capaz de prolongarse de manera indefinida debe también evitar destrucciones al entorno y recursos. Siendo que se ha demostrado que la existencia de combustibles fósiles es finita su producción no es sostenible; sabiendo que las fuentes de energía renovable no son finitas por ello se considera que la producción de éstas si es sostenible y además al evitar emisiones de GEI y procurar el medio ambiente se considera que su producción representa sostenibilidad ambiental.[98]

## **6.6 MATRIZ ENERGÉTICA**

La composición de las matrices energéticas varía según el país, influida por factores como la disponibilidad de recursos, la demanda y las decisiones políticas. La matriz energética diversa de México reduce su dependencia de una sola fuente y su vulnerabilidad a las fluctuaciones mundiales de los precios de los combustibles fósiles. Las energías renovables están ganando terreno en México debido a los avances tecnológicos, las reformas legales y las políticas públicas que promueven su adopción. En 2019, México obtuvo más del 80% de su energía de combustibles fósiles, el petróleo constituyó un 45,20%, seguido por el gas natural (37,84%), carbón (6,44%), biocombustibles (5,02%),

energía eólica y solar (2,75%), energía nuclear (1,62%) y la hidroeléctrica (1,13%), siendo el petróleo el mayor contribuyente. (Plan del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034. Secretaría de Energía. México, 2020) [74].

Sin embargo, en 2020, los combustibles fósiles siguieron representando la mayor parte de la capacidad instalada con un 64.50% y de la generación eléctrica con un 72.15%, Se obtuvo electricidad adicional a través de las energías hidroeléctrica (8,59%), eólica (6,31%), solar (4,33%), biomasa (3,49%), nuclear (3,48%) y geotérmica (1,46%). El Plan del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034 diseña la estrategia de México para abordar la oferta y la demanda de energía en un periodo de quince años, mientras que el Plan de Negocios 2022-2026 de la Comisión Federal de Electricidad expone las intenciones del gobierno para el sector eléctrico mexicano en un periodo de cinco años” (Plan del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034. Secretaría de Energía. México, 2020) [74].

## **6.7 DESAFÍOS Y PROBLEMÁTICAS**

Uno de los principales desafíos que enfrenta México en relación a su matriz energética es la necesidad de diversificar sus fuentes de energía. La transición hacia fuentes más limpias y renovables se ha vuelto imperativa para combatir el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el agotamiento de los yacimientos de petróleo y gas natural pone en riesgo la capacidad de México para mantener su producción energética en el futuro.

Otro desafío importante es la falta de acceso a la energía en algunas regiones del país, especialmente en áreas rurales y comunidades marginadas. La expansión de la infraestructura energética y el desarrollo de programas de energía limpia y renovable pueden contribuir a superar esta brecha y promover la inclusión energética.

## **6.8 OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO**

Alta radiación solar: México posee un promedio anual de radiación solar entre 5 y 7 kWh/m<sup>2</sup>, lo que lo convierte en un lugar óptimo para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos. (Fernández Salgado, J. M.) (2010) [37].

Políticas gubernamentales y regulaciones: El gobierno mexicano ha puesto en marcha políticas de incentivos y programas que buscan promover la generación de energía renovable, como la Ley de Transición Energética y las subastas eléctricas a largo plazo.

**Financiamiento y apoyo económico:** Existen diversas instituciones financieras y organismos tanto nacionales como internacionales que facilitan el financiamiento de proyectos fotovoltaicos en México, incluyendo el Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Red eléctrica nacional:** La infraestructura de la red eléctrica nacional está en constante mejora, lo que permite la integración efectiva de proyectos fotovoltaicos a gran escala.

**Demanda creciente de energía:** La creciente demanda de energía eléctrica en México, impulsada por el aumento de la población y el desarrollo industrial, representa una oportunidad para satisfacer esa demanda mediante fuentes renovables como la energía solar fotovoltaica.

**Generación distribuida y autoconsumo:** La generación distribuida a pequeña escala y el autoconsumo están en aumento en México, especialmente en los sectores residencial e industrial, lo que abre oportunidades para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos descentralizados.

**Formación local y capacitación laboral:** La creciente necesidad de profesionales capacitados en el ámbito fotovoltaico en México brinda oportunidades para establecer programas de formación y capacitación.

**Investigación y desarrollo:** México tiene un gran potencial para fortalecer la investigación y el desarrollo en tecnologías fotovoltaicas, lo que podría resultar en la creación de patentes nacionales y avances tecnológicos en este sector.

A pesar de los desafíos, México presenta varias oportunidades para transformar su matriz energética hacia una más sostenible. Entre ellas se encuentra el potencial de diversas energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica. Estos recursos son abundantes en el país y su aprovechamiento puede ayudar a reducir la dependencia de los hidrocarburos y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Otra oportunidad importante es la implementación de políticas y regulaciones que fomenten la inversión en energías limpias y promuevan la eficiencia energética. El impulso a la investigación y el desarrollo en tecnologías limpias, así como la promoción de la

participación del sector privado, pueden ser clave para estimular la innovación y la adopción de soluciones más sostenibles.

Además, es crucial fortalecer la cooperación internacional y la colaboración regional en el ámbito energético. El intercambio de conocimientos y experiencias con otros países puede ser beneficioso para acelerar la transición hacia un sistema energético más limpio y resiliente (Fernández Salgado, J. M.) (2010) [37].

## **6.9 REFORMA ENERGÉTICA**

La reforma energética en México buscaba incorporar al sector privado en la industria energética con el fin de disminuir los costos de generación, fomentar la inversión en transmisión y distribución, y acelerar la transición hacia energías limpias. La legislación principal fue la Ley de la Industria Eléctrica, promulgada en 2014, que estableció un nuevo marco regulador permitiendo la participación del sector privado en la generación de electricidad. Esta reforma abrió la generación de energía a la competencia y creó un mercado mayorista de electricidad. Todos los actores en este nuevo mercado pueden competir en igualdad de condiciones por contratos de suministro de generación a través de licitaciones competitivas, excepto en el caso de la generación nuclear, que sigue bajo el control de la empresa estatal CFE. Los grandes consumidores pueden acceder al mercado mayorista de electricidad mediante subastas o comprando directamente a la CFE o a otros proveedores, mientras que los usuarios residenciales adquieren energía de la CFE a precios regulados.

El gobierno mantiene la responsabilidad de la planificación y el control del sistema energético nacional a través del recién creado CENACE, que gestiona el mercado mayorista y asegura el acceso para nuevos generadores. La reforma también buscó abordar las ineficiencias del sector energético, como el funcionamiento de centrales obsoletas, y enfrentar los retos financieros de la CFE. Ha generado oportunidades para atraer inversiones adicionales en fuentes de energía renovables. Esta reforma fue impulsada por la necesidad de transformar el marco normativo y constitucional del sector energético, ya que las inversiones en Pemex no eran proporcionales a la producción de petróleo y el país dependía cada vez más de gas y productos petrolíferos importados. Las reformas constitucionales de 2013 abrieron el sector energético a la inversión extranjera y tenían como objetivo modernizar y fortalecer las empresas energéticas estatales. Además, la

reforma buscaba lograr precios más bajos de energía, un mejor suministro energético, cumplir con estándares internacionales de eficiencia y transparencia, combatir la corrupción, proteger el medio ambiente y atraer inversiones para impulsar el desarrollo del país, al tiempo que se reducían los riesgos financieros, geológicos y ambientales asociados con la exploración y extracción de petróleo y gas [42][43][63][64][65].

## **6.10 REFORMA ENERGÉTICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

El sector eléctrico en México ha experimentado transformaciones significativas a raíz de la Reforma Energética. La ley más importante para este sector es la Ley de la Industria Eléctrica, que introduce cambios clave en la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad. Esta legislación establece obligaciones en relación con energías limpias, acceso abierto, suministro, servicio universal y electrificación para los actores de la industria. Su objetivo es fomentar el desarrollo de la industria eléctrica y asegurar su funcionamiento continuo, eficiente y seguro. La Reforma comenzó a implementarse en 2014 y 2015, y las operaciones del Mercado Eléctrico Mayorista se pusieron en marcha en 2016, generando cambios significativos en el sector.

Entre los principales cambios introducidos por la Reforma se encuentra la creación del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), encargado del control operativo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), la gestión del mercado eléctrico mayorista y la administración del acceso abierto a la red nacional de transmisión y a las redes generales. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) transfiere recursos al CENACE para facilitar el cumplimiento de sus funciones. Además, el CENACE tiene la obligación de apoyar a la CFE en la operación eficiente de sus redes dentro de un plazo de 12 meses. La Reforma también presenta nuevas figuras que permiten la entrada de nuevos participantes en un entorno competitivo, como generadores, proveedores, comercializadores y usuarios calificados. Estos cambios aumentan la visibilidad de los puntos de red disponibles para la interconexión de nuevas plantas generadoras y crean un mercado más dinámico. Asimismo, se optimiza la eficacia de las tecnologías al contar con un operador independiente responsable de gestionar el mercado mayorista de electricidad [63][64][65].

La Reforma Energética trajo consigo modificaciones institucionales en el sector eléctrico con el fin de fortalecer el Sistema Eléctrico Nacional (SEN); Los principales cambios institucionales se resumen aquí:

- Secretaría de Energía (SENER): Fortalecimiento para realizar las actividades de planeación, apoyándose de organismos con mayor solidez y autonomía, es ahora la encargada del diseño de la política energética del país, teniendo a su cargo la toma de decisiones sobre la planeación del SEN.
- Comisión Reguladora de Energía (CRE): Se convierte en un órgano regulador coordinado desconcentrado de la misma SENER, dotado de personalidad jurídica propia, autonomía técnica y de cierta autonomía presupuestal.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE): La CFE pasa de ser un organismo descentralizado a una Empresa Productiva del Estado, para brindar un servicio público de energía eléctrica de calidad, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente.
- Centro Nacional de Control de Energía (CENACE): Opera ahora como órgano desconcentrado, siendo el encargado del control operativo del SEN, de operar el mercado mayorista y del acceso abierto a las redes de transmisión y distribución [63][64][65].

## 6.11 MARCO NORMATIVO EN MÉXICO

La reforma energética en México introdujo dos leyes fundamentales: la Ley de la Industria Eléctrica y la Ley de Transición Energética, que fomentan la inversión, especialmente de empresas privadas, en el sector energético y promueven objetivos de energía limpia. Estas leyes son parte de un marco político más amplio en el país para impulsar las energías limpias y enfrentar el cambio climático. Incluso antes de esta reforma, México había establecido normativas para incentivar la generación de energías renovables[64][65].

En su INDC “Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional” (INDC por sus siglas en inglés), que describió los planes del país para la acción climática en los siguientes cinco años, México delineó sus planes de acción climática para los próximos cinco años, fijando un objetivo incondicional de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 22% respecto a la línea de base para 2030. Además, estableció un objetivo más ambicioso de hasta un 36% de reducción de GEI para 2030, condicionado a un acuerdo global que incluya un precio internacional del carbono, cooperación técnica, transferencia de tecnología y acceso a financiamiento asequible. México también fue uno de los primeros países en unirse a la coalición "altamente ambiciosa" destinada a limitar

el calentamiento global a 1.5 grados centígrados, por debajo del objetivo de 2 grados, considerado necesario por los científicos para evitar cambios climáticos peligrosos. Desde la COP21, el gobierno mexicano ha avanzado en la implementación de sus objetivos de energía limpia para el sector eléctrico. En julio de 2016, junto con Estados Unidos y Canadá, México asumió varios compromisos relacionados con el cambio climático, incluyendo la meta de lograr un 50% de generación de energía limpia en América del Norte para 2025 y presentar "estrategias de desarrollo para bajas emisiones de GEI a largo plazo para mediados de siglo" a la Secretaría de Cambio Climático de la ONU.

México se unió a otros 23 países en la alianza (Powering Past Coal Alliance), que busca eliminar el carbón como fuente de energía. El país ofrece incentivos fiscales y normativos para promover las energías renovables, incluyendo la amortización acelerada para inversiones en este sector. Además, permite a los consumidores con autogeneración, como paneles solares, reducir o vender su excedente de energía. México ha integrado sus compromisos internacionales para mitigar el cambio climático y adoptó una legislación amplia sobre el tema en 2012, con el objetivo de reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero, garantizar el acceso al agua y la energía, y evaluar los impactos potenciales del cambio climático [63][64][65].

#### **6.11.1 LEGISLACIONES**

La legislación abarca una ley general y un programa que contiene una estrategia nacional específica sobre cambio climático, centrada en la mitigación, adaptación y los aspectos constitucionales. Su enfoque principal es asegurar el derecho a un medio ambiente saludable, estableciendo metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) para 2020 y 2050. Para lograr la mitigación, es fundamental respaldar las nuevas leyes que promueven una planificación más efectiva del crecimiento del sistema de generación eléctrica, incluyendo el impulso acelerado de proyectos de energías limpias en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

##### **Planes**

- Plan Nacional de Desarrollo.

##### **Estrategias**

- Estrategia Nacional de Cambio Climático.

- Estrategia de Transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios.

### **Programas**

- Programa Sectorial de energía.
- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2014-2018).
- Programa Especial de la Transición Energética.
- Programa Especial para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2014-2018).
- Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.

### **Lineamientos**

- Lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CELs y los requisitos para su adquisición.
- Establecimiento de criterios normativos de energías Limpias, eficiencia energética, cogeneración eficiente, sistemas de generación limpia distribuida, emisiones de gases compuestos de efecto invernadero.
- Bases del mercado eléctrico.
- Acuerdos voluntarios para reducir la intensidad energética.

En la legislación mexicana, se incluye la Reforma Energética, que establece las bases para modernizar y transformar el sector energético del país. La ejecución de esta reforma, junto con los objetivos de la Ley de Transición Energética, ha impulsado el desarrollo de políticas públicas que facilitan la implementación de más proyectos de energías limpias. Como resultado, la planificación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), que abarca generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, se lleva a cabo en coordinación con la Secretaría de Energía (SENER). La Comisión Reguladora de Energía establece las directrices para las autorizaciones y permisos, asegurando que estos sean coherentes con la política energética nacional[85].

## **6.12 MECANISMOS Y POLÍTICAS DE FOMENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES**

Constitución Política de los Estados Mexicanos [23][39].

- Artículo 4, Artículo 25, Artículo 27, Artículo 28

Leyes:

- Ley de Planeación.
- Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.
- Ley de la Industria Eléctrica.
- Ley general de Cambios Climático.
- Ley de la Comisión Federal de Electricidad.
- Ley de Transición energética.
- Ley de Energía Geotérmica.
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

### **Reglamentos**

- Reglamento de la Ley de La Industria Eléctrica.
- Reglamento de la Ley de La Comisión Federal de Electricidad.
- Reglamento de la Ley de Transición Energética.
- Reglamento de la Ley de Geotérmica.
- Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Dentro de los mecanismos de fomento de energías renovables se encuentra PRODESEN este proporciona la planificación del SEN y reúne a su vez los elementos relevantes del PIIRCE, el PAMRNT y del PAMRGD de manera anual y proyectados a 15 años. Los instrumentos desarrollados en México en 2016 incluyen la primera versión de AZEL que identifica las áreas con alto potencial de energías renovables disponibles, evaluándose el potencial de generación eléctrica con fuentes de energía solar, eólica, geotérmica y de biomasa en México[74][75].

## **6.13 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA ENERGÉTICA PARA EL FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES**

- Fondo para la Transición Energética y Uso Sustentable de la Energía.
- Fondo de Servicio Universal Eléctrico
- Subastas Eléctrica de mediano y largo plazo.
- Redes Eléctrica Inteligentes.
- Certificados de Energías Limpias.

- Inventario Nacional de las Energías Limpias (INEL) y Atlas de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (AZEL).
- Energías Renovables en Línea (ENREL).
- Plataforma Informática en Materia de Generación Distribuida.

En 2014, la Reforma Energética cobró forma con la promulgación de leyes secundarias en el ámbito energético, así como sus reglamentos. Se aprobaron 9 nuevas leyes y se reformaron 12 más. La Tabla 10 resume las leyes nuevas creadas y las que fueron modificadas a raíz de la Reforma Energética, Plan del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034. Secretaría de Energía. México, 2020 [74].

### 6.13.1 LEGISLACIÓN SECUNDARIA CON RESPECTO A LA REFORMA ENERGÉTICA.

Tabla 6.1. Legislación secundaria con respecto a la reforma energética.[18][63][64][65]

| ORDENAMIENTO                                                                                                                                                                                                                                                        | LEYES DE LA REFORMA ENERGÉTICA  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Ley de Hidrocarburos<br>Ley de Inversión Extranjera<br>Ley Minera<br>Ley de Asociaciones Público Privadas                                                                                                                                                           | Decreto Hidrocarburos           |
| Ley de Industria Eléctrica<br>Ley de Energía Geotérmica<br>Ley de Aguas Nacionales                                                                                                                                                                                  | Ley Eléctrica<br>Ley Geotérmica |
| Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos.                                                                                                                                                         | Ley Agencia                     |
| Ley de Petróleos Mexicanos.<br>Ley de la Comisión Federal de Electricidad.<br>Ley Federal de las Entidades Paraestatales.<br>Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público.<br>Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. | Empresas Productivas del Estado |
| Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.<br>Ley Orgánica de la Administración Pública.                                                                                                                                                     | Reguladores LOAPF               |
| Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos<br>Ley Federal de Derechos<br>Ley de Coordinación Fiscal                                                                                                                                                                        | Decreto Fiscal                  |
| Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo.                                                                                                                                                                                         | Ley del Fondo                   |

|                                                         |                        |
|---------------------------------------------------------|------------------------|
| Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria |                        |
| Ley General de Deuda Pública                            | Decreto Presupuestario |

## 6.14 LEYES FEDERALES EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

### **Ley de La Industria Eléctrica**

Esta ley es reglamentaria de la constitución política de los estados unidos mexicanos, fue publicada en el diario oficial de la federación el día 11 de agosto de 2014. En esta ley tiene por finalidad promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal de energías limpias, y de reducción de emisiones contaminantes, Ley de la Industria Eléctrica. (2014)[63]. Así mismo nos dice que la comercialización de energía eléctrica es libre de competencia.

### **Ley de los Órganos Reguladores Coordinador en Materia Energética**

Esta ley establece las bases para la organización y funcionamiento adecuado de los involucrados que se encargaran de regular y coordinar, los implicados en esta ley son: la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), las cuales tienen la finalidad de promover un sector energético competitivo y eficiente.

### **Ley de Transición Energética**

Esta ley fue uno de los últimos fundamentos de la reforma energética, y sus objetivos principales son los siguientes [64]:

- Examina el aumento progresivo de las energías limpias en el sector eléctrico y regula el cumplimiento de las metas fijadas en cuanto a la generación de estas energías y la disminución de emisiones al medio ambiente.
  - Evalúa de manera económicamente viable el cumplimiento de las metas establecidas.
  - Se ocupa de promover las energías limpias y la reducción de emisiones.
  - Busca una reducción económicamente viable de las emisiones contaminantes en la generación de electricidad.
  - Fomenta el uso sostenible de la energía en el consumo final.
- Ley de transición energética. (2015) [64].

### **Ley Orgánica de la Administración Pública Federal**

Conjunto de normas jurídicas que establecen la forma de organización y áreas de competencia de la Administración Pública Federal que comprende al sector central y paraestatal, a través de las cuales el Estado ejerce sus atribuciones Ley de transición energética. (2015) [64].

### **Ley de Planeación**

Establece normas y principios básicos para orientar la Planeación Nacional del Desarrollo, así como las bases para el funcionamiento del Sistema Nacional de Planeación Democrática y de acuerdo con el artículo 4° de la Ley, corresponde al Ejecutivo Federal conducir la planeación del desarrollo nacional. Ley de transición energética. (2015)[64]

### **Ley General de Cambio Climático**

Se define como la “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 de tiempo comparables” Congreso de la Unión. (2012). Ley general de cambio climático [65], para dar más claridad a la definición anterior, es necesario realizar un análisis de las causas del cambio climático, tanto naturales como antropogénicas, profundizando en estas últimas, así como de los impactos y riesgos derivados de dicho fenómeno[65].

El 6 de junio de 2012 se publicó esta ley en el Diario oficial de la Federación, la cual tiene como primer objetivo: “Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;” Congreso de la Unión. (2012). Ley general de cambio climático [65]. Para lograr la reducción de estas emisiones, se implementan instrumentos regulatorios como el Inventario Nacional de Emisiones y el Registro Nacional de Emisiones, así como el establecimiento y regulación del mercado de bonos de carbono y el Fondo para el Cambio Climático.

En cuanto a las metas y plazos establecidos en el artículo tres, parte II de la ley, se especifican los siguientes objetivos:

a) Para el año 2020, y en línea con la meta nacional de reducción de emisiones, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en colaboración con la Secretaría de Economía, la Secretaría de Energía, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, deberá haber creado

gradualmente un sistema de subsidios que fomente el uso de combustibles no fósiles, la eficiencia energética y el transporte público sostenible en comparación con los combustibles fósiles.

b) Para el mismo año, las mismas secretarías deberán haber establecido un sistema de incentivos que haga viable y rentable la generación de electricidad mediante energías renovables, como la eólica, solar y mini hidráulica, a cargo de la Comisión Federal de Electricidad.

c) La Secretaría de Energía, en colaboración con la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Reguladora de Energía, buscará que la generación eléctrica a partir de fuentes limpias alcance al menos el 35 por ciento para el año 2024.

Según la Ley General de Cambio Climático, los principios que rigen la Política Nacional de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático son fundamentales para su implementación.: Figura 6.1 [17].

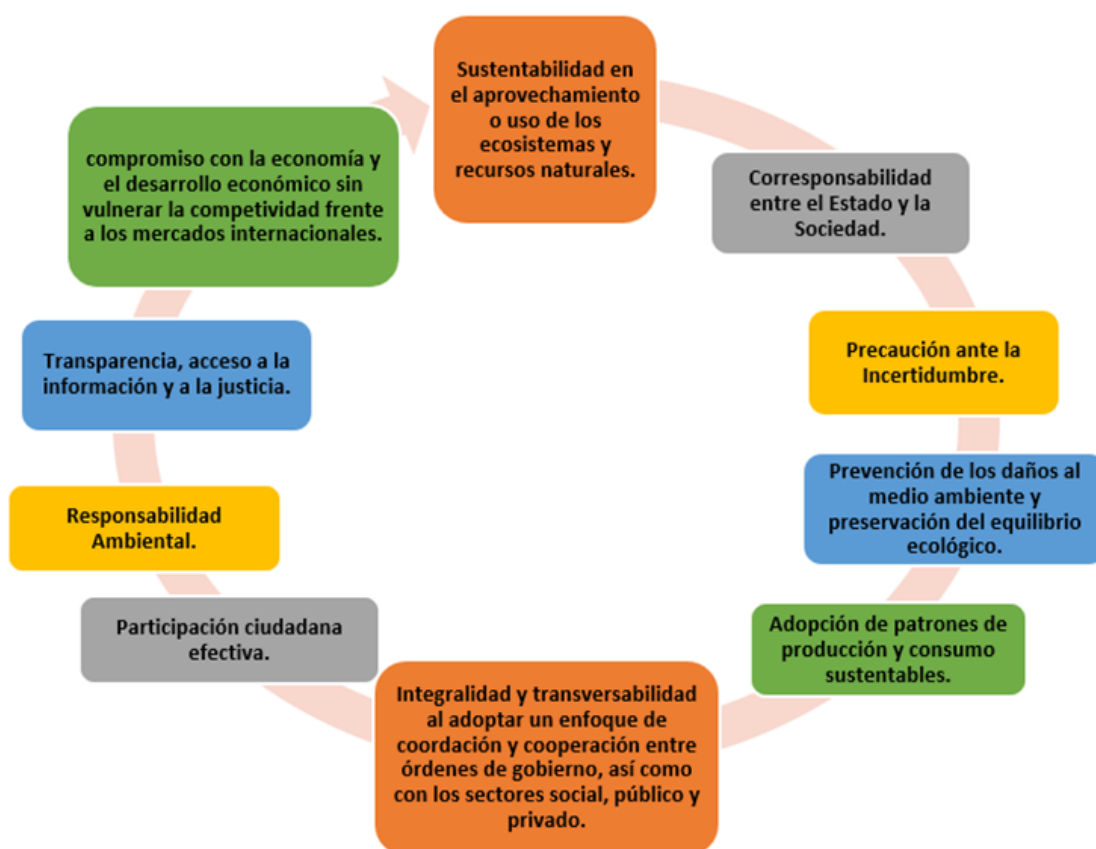


Figura 6.1 principios rectores que sustentan la Política Nacional de Cambio Climático[17].

## 6.15 LEYES ESTATALES EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES

Al menos nueve estados de México tienen en la actualidad legislación relacionada con energías renovables, como se detalla en el Cuadro 6.2. Aunque no todas las normativas son específicas para este tema, algunas leyes de coordinación, desarrollo económico y medio ambiente contemplan el uso y aprovechamiento de energías renovables. Se anticipa que estas iniciativas se expandan para apoyar las acciones de la política pública federal y lograr los objetivos establecidos en desarrollo económico, reducción de emisiones, seguridad energética y cambio climático.

Leyes estatales relacionadas con energías renovables tabla 6.2 Comisión Nacional

| Estado          | Leyes                                                                                                                                               |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chiapas         | Ley ambiental para el estado de Chiapas.<br>Ley orgánica del Instituto de Energías Alternativas Renovables y Biocombustibles del estado de Chiapas. |
| Oaxaca          | Ley de Coordinación.                                                                                                                                |
| Sonora          | Ley de Fomento de Energías.                                                                                                                         |
| Durango         | Ley para el Fomento, uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía del estado de Durango y sus municipios.                             |
| Coahuila        | Ley de uso racional de energía en Coahuila.                                                                                                         |
| Morelos         | Ley de desarrollo económico sustentable del estado libre y soberano de Morelos.                                                                     |
| Quintana Roo    | Ley de desarrollo económico y competitividad para el estado de Quintana Roo.                                                                        |
| Baja California | Ley de Energías Renovables.                                                                                                                         |
| Nuevo León      | Ley de desarrollo rural integral sustentable del estado de Nuevo León.                                                                              |

para el Uso Eficiente de la Energía. (n.d.). Normatividad aplicable - Estados y municipios.

Gob.Mx. [19].

## 6.16 BIENESTAR AMBIENTAL

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, lo que se consideraba un aumento de emisiones globales de CO<sub>2</sub> en 2015 tuvo un desacelere claro. De cualquier manera, en su reporte “Emissions Gap Report 2019”[30] el Programa Ambiental de las Naciones Unidas alertó que si la única referencia es el Acuerdo de París los compromisos ahí establecidos no alcanzarán para limitar las emisiones[30].

En el mismo reporte se asegura que la única manera de disminuir el cambio climático y lograr la preservación de las especies habitantes de la tierra, es decrecer las

emisiones de GEI a 25 Gt para 2030 —que de seguir el patrón actual llegarían hasta 56 Gt en 2030— este objetivo se logrará sólo si las emisiones se reducen un 7.6% por año. Esto implica que si el objetivo anual no se cumple los requerimientos para el año siguiente irán en aumento.

Es evidente que las acciones actuales no han sido suficientes y que es imperante la necesidad de acciones más efectivas. Con esto en mente se remarca la importancia de una transición energética a un sistema que produzca una menor cantidad de emisiones; como se ha mencionado, la manera de lograr esto es diversa, pero una de las mejores opciones es el impulso de energías renovables libres de emisiones. (potencial de las energías renovables en México)[3].

## **CONCLUSIONES.**

En conclusión, la energía solar fotovoltaica se presenta como una opción viable y rentable para proporcionar acceso a la electricidad en zonas rurales. Su implementación trae importantes beneficios económicos, sociales y ambientales son evidentes, ya que no solo se reducen los costos de energía para las comunidades rurales, sino que también se genera un aumento de la productividad, creación de empleos, acceso a servicios básicos y mejora de la calidad de vida de las comunidades y se disminuye la dependencia de fuentes de energía no renovables.

México posee numerosas oportunidades para aprovechar su potencial en energías renovables como la solar, y convertirse en un líder regional en la transición energética. Con factores como su alta radiación solar, el marco regulatorio favorable, el financiamiento disponible y la creciente demanda de energía; el país está en capacidad de impulsar proyectos fotovoltaicos a gran escala que permitan suplir parte de su matriz eléctrica de manera sustentable. Asimismo, la generación distribuida y el autoconsumo representan oportunidades para sistemas descentralizados. Fortaleciendo la I+D, la capacitación técnica y la cooperación internacional, México podría aprovechar todo su potencial renovable de forma estratégica, disminuyendo su dependencia de combustibles fósiles y cumpliendo sus objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Aunque existen desafíos y limitaciones en la implementación de la energía solar en estas áreas, se han desarrollado iniciativas y proyectos en México y América Latina que demuestran su efectividad. Sin embargo, es crucial contar con políticas públicas sólidas, coordinación y financiamiento para masificar el acceso a la energía solar en el medio rural

mexicano. Solo así se logrará un futuro sostenible en términos de energía y se garantizará un desarrollo equitativo para todas las comunidades

Al adoptar y apoyar la integración de la energía solar fotovoltaica, no sólo podemos mejorar las vidas de las personas en las zonas rurales, sino también contribuir a un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

En resumen, la electrificación rural a través de la energía solar es un paso crucial hacia una transición energética sostenible, la energía solar representa una alternativa estratégica clave para potenciar el desarrollo socioeconómico de las zonas rurales de forma renovable y con múltiples beneficios para las personas y el planeta.

## REFERENCIAS

1. Acumuladores electroquímicos. (s/f). Ulhi.net. Recuperado el 18 de diciembre de 2023, de [https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISFo4/es\\_IEA\\_ISFo4\\_Contenidos/website\\_21\\_acumuladores\\_electroquimicos.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISFo4/es_IEA_ISFo4_Contenidos/website_21_acumuladores_electroquimicos.html)
2. Baghzouz, E. E. 446/646 Y. (n.d.). Sunlight and its Properties Part I. Unlv.edu. Retrieved December 8, 2023, from <http://www.egr.unlv.edu/~eebag/Properties%20of%20Sunlight%20-%20Part%20I%20-F13.pdf>
3. Bassam, N. E. (2010). Energy resources and systems. Volume 1: Renewables. Springer Science & Business Media
4. Barco Jiménez, J., Eraso Checa, F., Pantoja, A., & Caicedo Bravo, E. (2021). Estimation of global solar radiation using NNARX neural networks based on the UV index. *Tecnura*, 25(70), 90–107. <https://doi.org/10.14483/22487638.18638>
5. Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Monteagudo, F. E., & Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *CienciaUAT*, 11(2), 105. Recuperado de <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.742>
6. Bernabeu, E., Martínez-Lasheras, F., Sánchez-García, J. C., & López-Sabirón, A. M. (2017). Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/316860377\\_Seleccion\\_de\\_un\\_sistema\\_solar\\_fotovoltaico\\_para\\_un\\_vehiculo\\_electrico](https://www.researchgate.net/publication/316860377_Seleccion_de_un_sistema_solar_fotovoltaico_para_un_vehiculo_electrico)
7. Bodansky, D. (2004). The history of the global climate change regime. In *International relations and global climate change*. MIT Press.
8. Bureau Veritas , 2008. Manual para la formación en medio ambiente. s.l.:Lex Nova.
9. Calderón, M. M. (2020, March 18). Conceptos geodésicos básicos. Michaelmoya.com. <https://www.michaelmoya.com/2020/03/conceptos-geodesicos-basicos.html>
10. Cámara de Diputados: Publica las iniciativas y documentos aprobados en materia legislativa, incluyendo leyes secundarias. <http://www.diputados.gob.mx/>
11. CasasSolares.org. (s.f.). Sistemas fotovoltaicos. Recuperado el 4 de junio de 2023 de <https://casassolares.org/sistema-fotovoltaico/>
12. Castro, C. (2023). Energía solar en zonas rurales: Soluciones sostenibles y beneficiosos. *Energías Sin Límites*. Recuperado el [día, mes, año] de <https://energiasinlimite.bio/energia-solar-en-zonas-rurales/>

13. Carvajal, D. Montecinos, S. (2018). Energías renovables: Escenario actual y perspectivas futuras. Chile: Editorial Universidad de La Serena.
14. Coelectrix, P. (2020, marzo 15). Paneles Solares para Autocaravana. Coelectrix; coelectrix.com. <https://coelectrix.com/blog/paneles-solares-para-autocaravanas-y-furgonetas-camper>
15. Co, S. S. (2023, septiembre 19). Energía Solar en Áreas Rurales: Empoderando Comunidades y Sostenibilidad. LinkedIn.com. <https://es.linkedin.com/pulse/energ%C3%ADa-solar-en-%C3%A1reas-rurales-empoderando-comunidades-y>
16. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2019). Perspectivas económicas de América Latina 2019: desarrollo en transición. Publicación de las Naciones Unidas, LC/PUB.2019/6-P. Santiago. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e33f280d-7c56-410d-81fe-18a7051f94db/content>
17. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (n.d.). Política Nacional de Cambio Climático: Marco regulatorio. Gob.Mx. Retrieved December 9, 2023, from <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/politica-nacional-de-cambio-climatico-marco-regulatorio>
18. Comisión para la Cooperación Ambiental. (2010). Guía para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía renovable en América del Norte. Recuperado de <http://www.cec.org/files/documents/publications/3610-guide-developing-community-renewable-energy-project-in-north-america-es.pdf>
19. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (n.d.). Normatividad aplicable -Estados y Municipios. Gob.Mx. Retrieved December 9, 2023, from <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normatividad-aplicable-estados-y-municipios?state=published>
20. Compendio de Indicadores Ambientales de México (2008). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_2008/compendio\\_2008/compendio2008/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet5554.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet5554.html)
21. Curso de Energía Solar Fotovoltaica. (n.d.). Ujaen.Es. Retrieved December 8, 2023, from: [https://web.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/02\\_radiacion/01\\_basico/2\\_radiacion\\_07.htm](https://web.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_07.htm)
22. Climate Action Tracker. (s.f.). Climate Action Tracker. Recuperado el 14 de noviembre de 2023, de <https://climateactiontracker.org/>

23. De Energía, S. (s. f.). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable, informe uno. gob.mx. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241356/Informe\\_Uno\\_del\\_FOTEAS\\_E\\_2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241356/Informe_Uno_del_FOTEAS_E_2017.pdf)
24. Delfin Cota, A. A., Westinghouse, P. (2021). Instala Paneles Solares Como Experto: Diseña sistemas interconectados y sistemas aislados de manera efectiva. (n.p.): Independently Published.
25. Díaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2018). Instalaciones solares fotovoltaicas. McGraw-Hill/Interamericana de España.
26. DiPippo, R. (2008). Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. Butterworth-Heinemann.
27. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons. Hoboken, Nueva Jersey, EE.UU.
28. e-Junior.net. (s.f.). Ozono. <https://www.e-junior.net/articulo/4117/ozono>
29. Energía, D. S. N. (2020, October 19). Efecto de sombreado en la producción de un sistema fotovoltaico solar - Conocimiento - DS New Energy. DS Nuevo Energía. <https://www.dsisolar.com/info/shading-effect-on-output-of-solar-pv-system-50734669.html>
30. Environment, U. N. (2019, November 19). Emissions Gap Report 2019. UNEP - UN Environment Programme. <https://unep.org/resources/emissions-gap-report-2019>
31. EV Charging Energy. (2023, November 20). Un futuro más brillante Soluciones de energía solar para desarrollo remoto. EV Charging Energy5. <https://energy5.com/es/un-futuro-mas-brillante-soluciones-de-energia-solar-para-desarrollo-remoto>
32. EV Charging Energy. (2023a, August 29). Cómo las políticas de energía solar impactan a las comunidades rurales. EV Charging Energy5. <https://energy5.com/es/como-las-politicas-de-energia-solar-impactan-a-las-comunidades-rurales>
33. Energiasolarfotovoltaica.org. Retrieved December: from <https://energiasolarfotovoltaica.org/objetivos-de-la-energia-solar-fotovoltaica>
34. Energía., 1. E. L. Sol: Fuente. (n.d.). CAPITULO 1: DEL SOL A LA CÉLULA FV TEMA 01: EL SOL: FUENTE DE ENERGÍA. Wordpress.com. Retrieved December 6, 2023, from <https://311cie.files.wordpress.com/2014/09/tema-1-1-el-sol-fuente-de-energia.pdf>

35. Energía Solar Térmica. (2008). España: Fundación Confemetal.
36. Energías Renovables, I. R. (n.d.). Informes Técnicos Ciemat. Iaea.org. Retrieved December 6, 2023, from [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/38/115/38115077.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/115/38115077.pdf)
37. FERNÁNDEZ SALGADO, J. M. (2010). Compendio de energía solar: Fotovoltaica, térmica y termoeléctrica. España: Ediciones Mundi-Prensa.
38. Forsund, F. R. (2015). Hydropower economics (2nd ed.). International Series in Operations Research & Management Science, 217. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7519-5>
39. García Martín, P. (2022). Energía solar fotovoltaica para todos 2ed. España: Marcombo.
40. Garcia, P. (2021, August 11). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? Geoinnova; Asociación Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>
41. G, M. C. I. (2016, 29 marzo). Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en el Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/106218>
42. Gobierno de México. (sf). Explicación ampliada de la Reforma Energética. Recuperado el 22 de abril de 2023 de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion\\_ampliada\\_de\\_la\\_Reforma\\_Energetica1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf)
43. González Velasco, J. (2012). Energías renovables. España: Reverte.
44. Gómez, I. (2017, 4 de abril). Gases de efecto invernadero. Stop al cambio climático: gases de efecto invernadero. <https://childrenfornature.blogspot.com/2017/04/gases-efecto-invernadero-un-gas-efecto.html>
45. Guía, D., González, J., & Rojas, R. (n.d.). "DESARROLLO DE PROYECTOS DE EMPRENDIMIENTO CON APOYO DE ENERGÍA SOLAR EN AGRICULTURA." Fch.Cl. Retrieved December 8, 2023, from <https://fch.cl/wp-content/uploads/2021/07/guia-didactica-docente-desarrollo-de-proyectos-de-emprendimiento-con-apoyo-de-energia-solar-en-agricultura-1-1.pdf>
46. Guadarrama Vaca, Carlos. "Geometría Solar para Arquitectos." Unidad de Apoyo para el Aprendizaje, 2022. Recuperado de <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/f6999a28-3256-44a6-8823-be5ea5137a5b/Contenido/index.html#contenido3>

47. Grupo Eco-Cima Climatización. (s.f.). Energía solar fotovoltaica. Recuperado el 4 de junio de 2023 de <https://www.eco-cima.es/energia-solar-fotovoltaica/>
48. Hasan, A., Sloderbeck, M., Ding, M., & Ren, Z. (2019). Progress and trends in materials, devices and systems for opto-thermal energy conversion. *Nature Energy*, 4(5), 384-404.
49. IEA (2009), *World Energy Outlook 2009*, IEA, París. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2009>, Licencia: CC BY 4.0
50. IEA. (2021). *World Energy Outlook 2021*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
51. IEA (2023), *World Energy Outlook 2023*, IEA, Paris). Recuperado de [https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023?language=es,%20License:%20CC%20BY%204.0%20\(report\);%20CC%20BY%20NC%20SA%204.0%20\(Annex%20A\)#overview](https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023?language=es,%20License:%20CC%20BY%204.0%20(report);%20CC%20BY%20NC%20SA%204.0%20(Annex%20A)#overview)
52. INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México). (2012). *Electrificación rural para comunidades fuera de la red utilizando generación de energía renovable con sistemas híbridos*. Ciudad de México: INECC. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/690391/INFORME\\_Electrificacion\\_integrado18112021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/690391/INFORME_Electrificacion_integrado18112021.pdf)
53. ISFo4.- Componentes de las instalaciones solares fotovoltaicas. (s/f). Ulhi.net. Recuperado el 18 de diciembre de 2023, de [https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISFo4/es\\_IEA\\_ISFo4\\_Contenidos/singlepage\\_index.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISFo4/es_IEA_ISFo4_Contenidos/singlepage_index.html)
54. Informe Brundtland. Recuperado de <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/7c79caf6-fdc1-46b9-a144-8dafd12bfdef/PrincipiosDesarrolloSostenible/materiales/principios%20del%20desarrollo%20sostenible.pdf>  
<https://www.are.admin.ch/are/en/home/media/publications/sustainable-development/brundtland-report.html>
55. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr.pdf)
56. IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribución del Grupo de trabajo II al Sexto Informe de Evaluación del IPCC*. IPCC. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

57. IPCC AR6 working group 1: Technical summary. (s/f). Ipcc.Ch. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/technical-summary/>
58. Jarabo, F. (2008). El micro libro de las energías renovables y la tecnología ambiental. Micro libros Laguna.
59. Jutglar, A. (2011). Energía solar térmica. En Manual sobre energías renovables (pp. 45-60). Barcelona, España: Marcombo
60. Kreith, F. y Kreider, J.F. (1988). Fundamentos de Energía Solar Térmica. McGrawHill, Ciudad de México.
61. Labouret, Anne y Michel Villos. 2009. Energía Solar Fotovoltaica. 4ta edición. París: Dunod.
62. León, F. M. (2022, enero 14). Tendencia continuada del calentamiento de la Tierra en 2021. Tiempo.com. <https://www.tiempo.com/ram/tendencia-continua-del-calentamiento-de-la-tierra-en-2021.html>
63. Ley de la Industria Eléctrica. (2014). Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión. [https://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma\\_energetica/LIE.pdf](https://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/reforma_energetica/LIE.pdf)
64. Ley de transición energética. (2015). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
65. Ley general de cambio climático Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5301093](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5301093)
66. Medio Ambiente y Recursos Naturales, S. (n.d.). Guía para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía renovable. Gob.Mx. Retrieved December 6, 2023, from <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/guia-para-el-desarrollo-de-proyectos-comunitarios-de-energia-renovable>
67. (N.d.-b). Weebly.com. Retrieved December 6, 2023, from <https://geographicalsociety.weebly.com/uploads/1/2/0/7/120779411/renewable-energy.pdf>
68. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (s.f.). Interactive best research-cell efficiency chart. Photovoltaic Research. Recuperado [fecha], de <https://www.nrel.gov/pv/interactive-cell-efficiency.html>
69. Pareja Aparicio, M. (2020). Energía solar fotovoltaica: 3a edición. España: Marcombo.
70. Perpiñán, O. 2020. Energía Solar Fotovoltaica. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>

71. Photovoltaic Systems de Jim Dunlop. "Maintenance of Photovoltaic Systems" Capítulo 2. Editorial Springer (2018).
72. Power for Development: A Review of the World Bank Group's Experience with Rural Electrification" (World Bank, 2009). Análisis del tema con casos de proyectos.
73. Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. (2013). PwC.  
[http://awsassets.panda.org/downloads/130222\\_plan\\_integral\\_para\\_desarrollo\\_de\\_energias\\_renovables.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf)
74. Plan del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034. Secretaría de Energía. México, 2020  
<https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2020-2034>
75. PRODESEN 2022-2036 Capítulos 1 al 6.. (n.d.). Gob.Mx. Retrieved December 9, 2023, from <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Prodesen.aspx>
76. Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 2021. Recuperado de:  
<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/programa-especial-de-cambio-climatico-2021-2024>
77. Referencias de proyectos. (n.d.). Solargis.com. Retrieved December 8, 2023, from <https://solargis.com/es/project-references>
78. Rivera, A. (2005, 16 febrero). El Protocolo de Kioto entra en vigor. EL PAÍS: el periódico global.  
[https://elpais.com/diario/2005/02/16/sociedad/1108508401\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2005/02/16/sociedad/1108508401_850215.html)
79. Rodríguez, M., Vázquez, A., Domínguez, J., Quijano, R., & Rodríguez, C. R. (n.d.). LOS SIG Y LA INTEGRACIÓN IBEROAMERICANA A PARTIR DEL USO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA. Org.Mx. Retrieved December 6, 2023, from <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/21.pdf>
80. SALAZAR-PERALTA, Araceli, PICHARDO-S. J. Alfredo, PICHARDO-S, Ulises. La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. Revista de Investigación y Desarrollo 2016, 2-5: 11-20 Recuperado de  
<https://www.nrc.gov/docs/ML0932/ML093220680.pdf>
81. Sadiq, M., Kokchang, P., & Kittipongvises, S. (2023). Sustainability assessment of renewable power generation systems for scale enactment in off-grid communities. Renewable Energy Focus, 46, 323–337.  
<https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.07.006>

82. Sajjadnejad, A., Maleki, A. y Mashayekh, M. (2020). "Factors affecting renewable energy investment decisions: A systematic review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109762. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109762>
83. (S/f-b). Energy5.com. Recuperado el 5 de diciembre de 2023, de <https://energy5.com/es/soluciones-de-energia-sostenible-para-zonas-en-desarrollo-rural>
84. Segui, P. (2022, September 26). Energía solar fotovoltaica. OVACEN. <https://ovacen.com/energias-renovables/solar/fotovoltaica/>
85. Secretaría de Energía. (2018). Disposiciones Administrativas de Carácter General sobre la Evaluación de Impacto Social en el Sector Energético. Gobierno de México. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5524885&fecha=01/06/2018](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5524885&fecha=01/06/2018)
86. Sena, S. (2021, abril 26). Different types of solar cells – PV cells & their efficiencies - SolarSena. SolarSena - Solar Is Future. <https://solarsena.com/different-types-solar-cells-efficiencies/>
87. SEMARNAT. "Programa de Electrificación de Zonas Aisladas con Energías Renovables 2020-2024". 2020. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020#gsc.tab=0)
88. Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems" de Mukund R. Patel. CRC Press (2019).
89. Solmic. (2022). Paneles solares en zonas rurales. Recuperado 26 de julio de 2022, de <https://www.solmic.co/paneles-solares-en-zonas-rurales#:~:text=Las%20%C3%A1reas%20rurales%20pueden%20generar,mejoran%20su%20calidad%20de%20vida.>
90. Success stories. (n.d.). Solargis.com. Retrieved December 8, 2023, from <https://solargis.com/success-stories>
91. Tejeda Martínez & Gómez Azpeitia, 2015. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-35-Irradiacion-global-anual-kWh-m-2-dia\\_fig18\\_312576876](https://www.researchgate.net/figure/Figura-35-Irradiacion-global-anual-kWh-m-2-dia_fig18_312576876)
92. Torroba, A., Della Vecchia, F., Orozco Ramírez, R., & de Innovación y Bioeconomía (PIB), P. (2023). Energías Renovables en el Mundo Rural. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
93. TRASHORRAS MONTECELOS, J. (2021). UFO150 - Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas. España: Ediciones Paraninfo, S.A.

94. Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N. y Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296.
95. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (s.f.). Conference of the parties (COP). Recuperado de <https://unfccc.int/es/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
96. Van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles (92 pp., 21 cuadros, 10 recuadros de texto, 6 anexos). Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales, No. 3. FAO. <https://www.fao.org/uploads/media/Solar%20photovoltaic%20for%20SARD%20ES.pdf>
97. Villalva, M. G. (2015). *Energía Solar Fotovoltaica – Conceptos e Aplicaciones - Sistemas Aislados e Conectados à Rede*. Editorial Saraiva. Portugal.
98. Villareal, T., & Tornel, C. (2017, noviembre). La Transición Energética en México: retos y oportunidades para una política ambientalmente sustentable y socialmente inclusiva. Library FES. <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/mexiko/13901-20171211.pdf>
99. Wolniak, R. & Skotnicka-Zasadzień, B. (2022). Environmental and economic aspects of agricultural biogas plants. *Renewable Energy*, 190, 252-263.
100. World Energy Council. (2018). World Energy Trilemma Index. Recuperado de <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World-Energy-Trilemma-Index-2018.pdf>
101. Zambrano, Rosa. "El impacto de la energía en el medio ambiente: causas y soluciones." *Energía sin límites*, 2023. [https://energiasinlimite.bio/cual-es-el-impacto-de-la-energia-en-el-medio-ambiente/#politicas\\_y\\_medidas\\_para\\_reducir\\_el\\_impacto\\_ambiental\\_de\\_la\\_energia](https://energiasinlimite.bio/cual-es-el-impacto-de-la-energia-en-el-medio-ambiente/#politicas_y_medidas_para_reducir_el_impacto_ambiental_de_la_energia).
102. Zekry, A., Shaker, A., & Salem, M. (2018). Solar cells and arrays. En I. Yahyaoui (Ed.), *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (pp. 3–56). Elsevier.