



EVENTOS EXTREMOS DE IRRADIANCIA SOLAR

Medición y monitoreo con módulos de control
en distintas condiciones geográficas

Reynaldo Condori Yucra

Wilber Romario Quispe Coaquira

Norman Jesús Beltrán Castañón



NOVO MUNDO

Reynaldo Condori Yucra

Correo: rcondori@unaj.edu.pe

Perfil: Ingeniero mecánico electricista.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6905-2170>

Afiliación: Universidad Nacional de Juliaca.

Wilber Romario Quispe Coaquira

Correo: wilbertlv12@unaj.edu.pe

Perfil: Ingeniero en energías renovables.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8216-3695>

Afiliación: Universidad Nacional de Juliaca.

Norman Jesús Beltrán Castañón

Correo: nbeltran@unap.edu.pe

Perfil: Ingeniero mecánico electricista.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1597-2991>

Afiliación: Universidad Nacional del Altiplano.

EVENTOS EXTREMOS DE IRRADIANCIA SOLAR:
MEDICIÓN Y MONITOREO CON MÓDULOS DE CONTROL
EN DISTINTAS CONDICIONES GEOGRÁFICAS

Reynaldo Condori Yucra

Wilber Romario Quispe Coaquira

Norman Jesús Beltrán Castañón



Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN: 978-9942-7215-8-7

© Reynaldo Condori Yucra

© Wilber Romario Quispe Coaquira

© Norman Jesús Beltrán Castañón

2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12575222>

© Editorial Novo Mundo

Guayaquil, Ecuador.

www.editorialnovomundo.com

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Novo Mundo

Edición electrónica: Editorial Novo Mundo

Editado en Ecuador/ *Published in Ecuador*

EVENTOS EXTREMOS DE IRRADIANCIA SOLAR:
MEDICIÓN Y MONITOREO CON MÓDULOS DE CONTROL
EN DISTINTAS CONDICIONES GEOGRÁFICAS

Reynaldo Condori Yucra

Wilber Romario Quispe Coaquira

Norman Jesús Beltrán Castañón



DEDICATORIA

Dedicamos este texto a todos los profesionales involucrados en el desarrollo de las energías renovables de la tierra donde habitamos. Es preciso resaltar la necesidad de una mirada plena de las energías sostenibles (como actualmente se las conoce) para impulsar el desarrollo sostenible y conseguir la transición energética y la búsqueda de la independencia energética de los combustibles fósiles y su confiabilidad en el suministro.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Grupo de Estudios y Desenvolvimiento de alternativas energéticas de la Universidad Federal de Pará [GEDAE-UFPA] (Brasil).

A los integrantes del Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnología Solar Fotovoltaica (GRIDSOLAR-UNAJ) por el esfuerzo y dedicación al proyecto.

Y, finalmente, a los miembros del Instituto Peruano de Investigación de Energía Solar de la Universidad Nacional de Juliaca (IPIES-UNAJ).

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	16
INTRODUCCIÓN	17

CAPÍTULO I

VISIÓN PANORÁMICA DE LA GEOGRAFÍA EN RELACIÓN CON LA CLIMATOLOGÍA.....	19
1.1. ¿Qué se comprende por geografía física?	20
1.2. Conceptos elementales de la climatología	22
1.3. Relación entre climatología y meteorología	24
1.4. Definiciones centrales del clima y el sistema climático	25
1.5 Elementos y factores del clima	28
1.6. Estudios sobre el cambio climático en la última década	29

CAPÍTULO II

CONCEPCIONES RELEVANTES DE LA ENERGÍA SOLAR: RADIACIÓN, IRRADIACIÓN E IRRIDIANCIA SOLAR.....	32
2.1. Energía solar: fuente de energía renovable	33
2.1.1 Tipos de energía solar.....	34
2.2. Radiación solar y su importancia.....	35
2.2.1 Radiación solar ultravioleta.....	36
2.3. ¿Qué se entiende por irradiación e irradiancia solar?	37
2.4. Instrumentos que miden la irradiancia solar.....	40
2.5. Eventos extremos promovidos por la irradiancia solar.....	42

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR	45
3.1. ¿Qué es el módulo fotovoltaico?	47
3.1.1. Módulo fotovoltaico calibrado.....	49
3.2. Célula solar fotovoltaica: parte principal del módulo fotovoltaico	51
3.2.1. Clasificación de células o celdas fotovoltaicas	52
3.2.2. Modelo de celular o celdas fotovoltaicas.....	54
3.3. Funcionamiento del módulo fotovoltaico	56
3.4. Aporte de la informática.....	56
3.4.1. ¿Qué se conoce por Microcontrolador NODEMCU ESP8266?	57
3.4.2. Utilización del Microcontrolador NODEMCUESP8266	58

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN Y CASO DE ESTUDIO: REGISTRO DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE LA IRRADIANCIA SOLAR MEDIANTE EL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR EXAMINADOS EN SITUACIONES GEOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS EN PUNO	59
4.1. Objetivos de la investigación	60
4.1.1. Objetivo general	60
4.1.2. Objetivos específicos.....	60
4.2. Hipótesis de la investigación.....	61
4.2.1. Hipótesis general.....	61
4.2.2. Hipótesis específicas.....	61
4.3. Características de la investigación.....	61
4.3.1. Enfoque de la investigación.....	61
4.3.2. Nivel de la investigación.....	61
4.3.3. Tipo de investigación	62
4.3.4. Diseño de investigación.....	62
4.3.5. Lugar de estudio	62
4.4. Técnicas e instrumentos.....	64
4.6.1. Técnicas de recolección de datos	64
4.6.2. Técnica de procesamiento de los datos	64
4.6.3. Instrumentos	64
4.5. Materiales	64
4.5.1. Estructura de la plataforma sensorial	65

4.6. Resultados	70
4.6.1. Recolección de datos de eventos extremos de Irradiación solar registrados en Puno y Juliaca	70
4.6.2. Análisis estadístico de los datos registrados de eventos extremos de irradiancia solar en Puno y Juliaca	73
4.7. Discusión de resultados	92
4.8. Conclusiones	93
4.9. Recomendaciones	94
4.10. Sugerencias	95

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES: ASPECTOS CONCLUYENTES SOBRE EL USO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR EN EVENTOS EXTREMOS DE IRRADIANCIA SOLAR	96
---	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
---	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	
<i>Campos de la geografía física</i>	21
Figura 2	
<i>Cambio de los niveles del CO₂.....</i>	30
Figura 3	
<i>Comportamiento del Sol cuando se aleja del cenit</i>	38
Figura 4	
<i>Pirheliómetro mostrando protector de la lluvia y apoyos de alineación</i>	41
Figura 5	
<i>Piranómetro CM P6, fiable en todas condiciones climáticas.....</i>	42
Figura 6	
<i>Potencial de energía solar en Puno.....</i>	44
Figura 7	
<i>Modos de instalaciones del sistema Fotovoltaico</i>	46
Figura 8	
<i>Fabricación de un módulo fotovoltaico.....</i>	49
Figura 9	
<i>Estructura típica de una célula fotovoltaico</i>	52
Figura 10	
<i>Modelo I de una célula solar fotovoltaica.....</i>	54
Figura 11	
<i>Modelo II de una célula solar fotovoltaica</i>	55

Figura 12	
<i>Ubicación e implementación de las plataformas sensoriales (Google Maps).....</i>	63
Figura 13	
<i>Plataforma de medición de eventos extremos de irradiancia solar</i>	65
Figura 14	
<i>Diseño del hardware de la plataforma sensorial</i>	66
Figura 15	
<i>Circuitos de prueba en el protoboard.....</i>	67
Figura 16	
<i>PCB de alimentación de la plataforma sensorial</i>	68
Figura 17	
<i>PCB de medición, almacenamiento, comunicación de datos de la plataforma sensorial.....</i>	68
Figura 18	
<i>Diagrama de conexión de la plataforma sensorial</i>	69
Figura 19	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 16/01/2020 - Juliaca.....</i>	74
Figura 20	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 16/01/2020-Juliaca</i>	74
Figura 21	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 17/02/2020-Juliaca.....</i>	75
Figura 22	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 17/02/2020-Juliaca.....</i>	75
Figura 23	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 04/03/2020 -Juliaca</i>	76

Figura 24	
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 04/03/2020-Juliaca	77
Figura 25	
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 01/04/2020 - Juliaca	78
Figura 26	
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 01/04/2020-Juliaca	78
Figura 27	
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 06/06/2020 - Juliaca	79
Figura 28	
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 06/06/2020 -Juliaca	80
Figura 29	
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 25/07/2020 -Juliaca	81
Figura 30	
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 25/07/2020-Juliaca.....	81
Figura 31	
Irradiancia entre días con y sin presencia de nubes en la ciudad de Juliaca	82
Figura 32	
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 11/01/2020 -Puno.....	83
Figura 33	
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 11/01/2020 -Puno	84
Figura 34	
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 12/02/2020 -Puno.....	84

Figura 35	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 12/02/2020 -Puno</i>	85
Figura 36	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 13/03/2020 -Puno</i>	86
Figura 37	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 13/03/2020 -Puno</i>	86
Figura 38	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 24/07/2020 -Puno</i>	87
Figura 39	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 24/07/2020 -Puno</i>	87
Figura 40	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 11/08/2020 -Puno</i>	88
Figura 41	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 11/08/2020 -Puno</i>	88
Figura 42	
<i>Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 15/09/2020 -Puno</i>	89
Figura 43	
<i>Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 15/09/2020 -Puno</i>	89
Figura 44	
<i>Irradiancia entre días con y sin presencia de nubes en la ciudad de Puno</i>	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	
<i>Diferencias y similitudes entre la climatología y la meteorología</i>	25
Tabla 2	
<i>Tipos de radiación solar global</i>	36
Tabla 3	
<i>Clasificaciones de la luz ultravioleta de acuerdo con la longitud de onda.....</i>	37
Tabla 4	
<i>Componentes de la irradiancia solar.....</i>	39
Tabla 5	
<i>Cuadro comparativo entre los instrumentos para medición de la irradiancia solar.....</i>	41
Tabla 6	
<i>Especificaciones eléctricas de un módulo FV calibrado.....</i>	51
Tabla 7	
<i>Ocurrencias de eventos muy extremos de Irradiancia (> 1367 W/m²) en Juliaca.....</i>	70
Tabla 8	
<i>Ocurrencias de eventos de Irradiancia (> 1000 W/m²) en Juliaca.....</i>	71
Tabla 9	
<i>Ocurrencias de eventos muy extremos de Irradiancia (> 1367 W/m²) en Puno.....</i>	71
Tabla 10	
<i>Ocurrencias de eventos de Irradiancia (> 1000 W/m²) en Juliaca.....</i>	72

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el ser humano se ha preguntado por qué el medio geográfico varía de una zona a otra; por ejemplo, por qué en algunas áreas existe una gran cantidad de energía solar (calor), mientras que, en otras, por el contrario, la temperatura desciende a niveles tan bajos que no permiten tener las condiciones necesarias para la vida humana.

La respuesta a este interrogante se asocia con la presencia de un entramado de sistemas que interactúan y se retroalimentan unos entre otros. Al respecto, se tiene que la geografía considera el clima como uno de los elementos centrales de su estudio, sistema que se compone de la interacción permanente de los elementos de la naturaleza y sus sistemas (criosfera, hidrosfera, litosfera, atmósfera...) (Bonett, 2017).

En la actualidad, existe una preocupación latente por el avance del cambio climático y el calentamiento global, fenómeno que afecta en gran medida a la población humana y las distintas formas de vida existentes en la Tierra. Uno de los causantes principales de estos fenómenos son la emisión desmedida de gases nocivos para la capa de ozono, entre ellos, el CO₂ (Llamas y Llamas, 2018).

En García et al. (2021), se expone que el requerimiento de energía se incrementó a casi el doble de la tasa promedio de crecimiento desde el 2010 hasta el 2018, en porcentajes, esto significa que las emisiones de CO₂ aumentaron en un 1.7 %, algunas de las causas de este incremento son, según

estos autores, el crecimiento económico de países como China y EEUU, así como sus necesidades de climatización.

Ante este panorama, es que existe un interés por la búsqueda y la implementación de energías más sostenibles para el medio ambiente, entre ellas, figuran las que se asocian con el agua, el aire, el sol, entre otros. No obstante, existe una cuyo alcance es global, es decir, incide en las distintas zonas del globo terráqueo, se trata de la energía solar.

La captación de esta energía limpia y renovable se logra mediante los sistemas fotovoltaicos, elementos compuestos por módulo, los cuales están conformados a su vez por una serie de celdas o células que reciben la energía solar y mediante un conjunto de procesos la transforman en energía eléctrica. Además, se indica que la demanda del uso de estos equipos, materializados en el incremento de los parques fotovoltaicos o la incorporación de estos sistemas en las fachadas de los edificios, ha permitido que se avance en su estudio (Arias y Pérez, 2018).

Por otro lado, se sabe que para el buen funcionamiento de estos se requiere tener una data previa en cuanto a los niveles de irradiancia solar, tal como apunta Laguarda (2021), conocer la situación climatológica de una zona, en específico, sus niveles de irradiación solar, es un aspecto necesario para saber cómo desarrollar, simular y proyectar emprendimientos relacionados con la energía solar. Asimismo, se agrega que la gestión de esta información solar también tiene alcances en materia agropecuaria y salud pública.

A continuación, a lo largo de este libro, se exponen los aspectos teórico-conceptuales de tres temas relevantes: la climatología, la energía solar y, por último, los módulos fotovoltaicos. Asimismo, se expone el marco metodológico, el análisis y los resultados de una investigación realizada en Puno (Perú), en la que se tuvo por objetivo determinar los niveles de irradiancia solar durante en período de seis meses.

CAPÍTULO I

VISIÓN PANORÁMICA DE LA GEOGRAFÍA EN RELACIÓN CON LA CLIMATOLOGÍA

Si se observa el planeta Tierra desde un satélite, se notaría que existen diferencias entre una zona geográfica y otras: algunas tienen grandes relieves, otras se distinguen por la presencia de bosques o selvas frondosas. Los estudiosos, a lo largo de la historia, se preguntaron por la causa que origina esta serie de diferencias entre un área y otra.

La respuesta a esta pregunta reside en la caracterización del clima, cuyo estudio ha sido y es la principal preocupación de la ciencia geográfica, debido a diversos motivos, entre ellos, resalta la alta incidencia que tiene en la vida del ser humano, sobre todo en la creación de condiciones necesarias para vivienda u alimentación.

El clima, como tal, es el resultado de la interacción permanente entre los subsistemas del planeta, entre ellos, la criosfera, la atmósfera, la litosfera, la hidrosfera, la biosfera. Todos estos subsistemas se retroalimentan e interactúan entre ellos (Bonett, 2017) y como producto de este continuo

intercambio es que, por ejemplo, el medio geográfico de la Antártida no es el mismo que el del desierto del Sahara.

Asimismo, dentro de cada uno de estos sistemas existen un conjunto de elementos que les otorgan sus rasgos distintivos, algunos de estos son la humedad, el aire, la precipitación, la presión, entre otros (Ahrens y Henson, 2021). Todos estos componentes confluyen en la caracterización del clima, por lo que una configuración distinta de estos a largo plazo, crea un clima distinto entre uno y otro territorio.

En la actualidad, se observa que existe una gran problemática en torno al cambio del clima, este fenómeno tiene una repercusión de gran alcance en las distintas esferas de la vida humana y, en general, en las condiciones del planeta Tierra.

A continuación, se muestra una revisión teórico-conceptual de cada uno de los términos indicados anteriormente.

1.1. ¿Qué se comprende por geografía física?

En la historia de la ciencia geográfica, en específico, durante el s. xix, se seguía una línea de pensamiento influenciada por el cartesianismo, es decir, primaba una concepción dualista de las cosas. En ese sentido, para diferenciar la geografía de la historia, se creía que en la historia se trataban las actividades humanas; mientras que en la geografía se estudiaba el escenario en el que estas se realizaban (Beuf, 2018). Se observa, entonces, una orientación netamente física del espacio geográfico y se relega el estudio de la influencia o interacción que pueda existir entre el medio y las actividades humanas u otros seres vivos.

Posteriormente, se considera una división dentro de la geografía: geografía física y geografía humana. En la primera rama, se estudia el medio físico de la Tierra: la litosfera, hidrosfera, atmósfera, criosfera, entre otros, así como las causas y la evolución de los hechos físicos que suceden en el

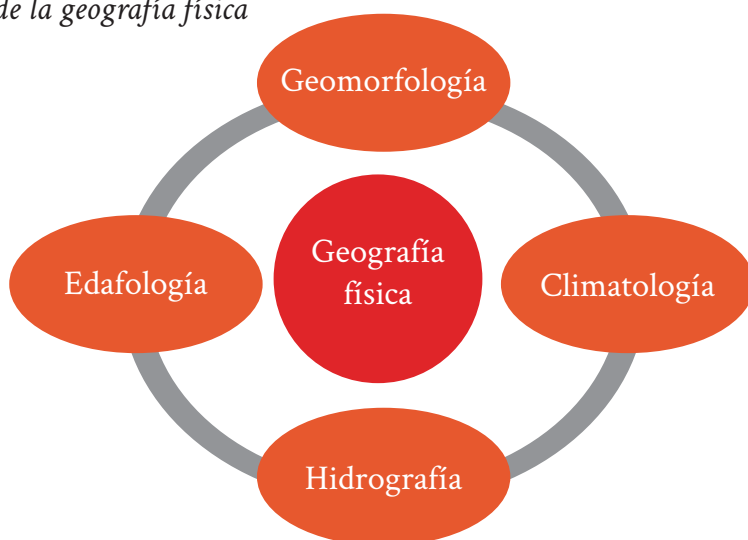
medio geográfico. En la segunda rama, la geografía humana, se tratan las interacciones que se establecen entre los componentes del medio físico y las actividades humanas (Bonett, 2017).

Siguiendo esta línea, la geografía física es la rama de la geografía que tiene por objetivo el estudio del planeta Tierra como un todo integral, además, se aboca al análisis de las funciones que realiza, así como a la forma en qué varía de acuerdo al espacio y tiempo. La Tierra, por su parte, es un sistema ambiental sumamente complejo, el cual es resultado de un conjunto de factores que interactúan entre sí, tales como el clima, el tiempo atmosférico, la atmósfera, el suelo, los organismos, las comunidades humanas, las acciones del hombre, entre otros (Petersen et al., 2017).

Por su parte, en Aguilera et al. (2020), se muestra una propuesta similar, la geografía física se encarga del estudio de la zona terrestre, aquello implica el tratado del sistema complejo conformado por la confluencia de la litosfera, hidrosfera, atmósfera y la biosfera, subsistemas que a su vez se relacionan con el estudio de los elementos base: suelo, agua, aire y seres vivos.

Figura 1

Campos de la geografía física



Nota: Adaptado de Bonett (2017).

Asimismo, de manera interna, la geografía física se divide, según la clasificación tradicional, en los campos mostrados en la Figura 1. Se muestran los campos de la geografía, los cuales son la geomorfología, la climatología, la hidrografía y la edafología. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos:

- **Geomorfología:** se encarga del tratado de los relieves que se presentan a lo largo de la superficie terrestre, tanto en su formación, composición, y los procesos que se producen en ellos (Suertegaray, 2018).
- **Hidrografía:** estudia los cuerpos de agua presentes en la Tierra, ya sea de manera superficial o subterránea, en sus distintos estados (Bonett, 2017).
- **Edafología:** la ciencia que se encarga del estudio de los suelos, tanto en su formación, composición, morfología, funciones, entre otros aspectos (Porta et al., 2019).
- **Climatología:** se encarga del estudio del clima y de los factores que inciden en ella (Bonett, 2017).

A continuación, se desarrolla a profundidad la caracterización del subsistema climatológico.

1.2. Conceptos elementales de la climatología

En relación con el punto anterior, la climatología es considerada como uno de los campos o ramas trascendentales de la geografía física que se encarga del estudio específico del clima, uno de los componentes base que condicionan el medio geográfico.

Tal como indica Gil y Olcina (2017), la climatología, de manera general, es definida como la ciencia de los climas, es decir, se encarga del estudio del clima, tanto desde un enfoque teórico como práctico. No obstante, es importante recalcar que esta propuesta resulta insuficiente, según algunos investigadores. En tal sentido, es que se proponen otras definiciones, por

ejemplo, el estudioso Hufty define *climatología* como el estudio del intercambio energético entre la atmósfera y la superficie terrestre.

La climatología se encarga del estudio de las particularidades de la atmósfera, sistema que se compone, principalmente, de las masas de aire; asimismo, en esta disciplina interesa la relación que se establece entre estos cuerpos de aire y la superficie terrestre, así como su distribución. En cuanto a las características de la atmósfera, estas se distinguen por variables como la precipitación, humedad, presión, entre otras (Aguilera et al., 2020).

Por otro lado, la climatología es considerada como el eje rector de la geografía, debido a que tiene como objetivo principal el estudio de la interacción entre las actividades del ser humano y el medio geográfico; en ese sentido, la climatología es la disciplina geográfica que tiene por fin el tratado de los tiempos atmosféricos y el clima. Asimismo, se indica que la climatología es una de las ramas de la geografía más antigua en ser estudiada, debido a que esta se relaciona e incide en las actividades y vida del ser humano, por ejemplo, en el asentamiento de los centros poblados, la agricultura, entre otros (Olcina, 2020).

Recapitulando, se obtiene que, la climatología es el estudio científico del comportamiento de la atmósfera de acuerdo con el tiempo. De manera estricta, se entiende que la climatología es la ciencia holística e integral que estudia todo tipo de data obtenida del sistema complejo terrestre (tierra, aire y agua), incluido las actividades del ser humano, que se relacione y explique los fenómenos atmosféricos (Rohli y Vega, 2018).

En las definiciones señaladas, se observa que, en algunas propuestas, el objeto de estudio de la climatología es el clima, mientras que en otras es la atmósfera. Al respecto la diferencia entre ambos términos radica en que el clima se constituye por las condiciones promedio de la atmósfera en un periodo extenso de años, por lo que se infiere que la climatología, al estudiar el clima, también estudia la atmósfera, pero en condiciones temporales a largo plazo (American Meteorological Society [AMS], 2021a).

Dentro de la ciencia climatológica, se encuentran a su vez subcampos, los cuales se distinguen unos de otros, en función a la escala de medición, el tiempo determinado, su enfoque teórico o por su alcance territorial, algunos de estos son la climatología física, hidroclimatología, climatología dinámica, climatología sinóptica, paleoclimatología, bioclimatología, climatología aplicada, entre otros (AMS, 2021a; Rohli y Vega, 2018).

1.3. Relación entre climatología y meteorología

La diferencia y similitud que se presentan entre estas dos ciencias radica en la cercana relación que se establece entre sus objetos de estudio, el clima y el tiempo atmosférico, los cuales se relacionan con la atmósfera. Por un lado, la meteorología se encarga del estudio del tiempo climático, el cual es el resultado de la variación instantánea de la atmósfera de acuerdo a un tiempo y espacio determinado. En simples palabras, el objeto de estudio de la meteorología es visible, es decir, se puede observar directamente al salir al exterior, algunos componentes que se asocian con este son la humedad, la temperatura, la precipitación, la presión, la dirección y velocidad del viento, entre otros (Rohli y Vega, 2018).

Por su parte, la climatología estudia el clima, el cual, según la AMS (2021a), es producto de la variación lenta de las condiciones del sistema comprendido por la atmósfera, la hidrosfera y la superficie terrestre. Además, el clima se caracteriza por el promedio adecuado de las condiciones de los sistemas climáticos por largos periodos largos, en función de las variaciones que se presenten en ese lapso. En ese sentido, según lo indicado por Rohli y Vega (2018), se infiere que los estudiosos de la climatología, al estudiar el clima, también deben considerar las condiciones cambiantes del tiempo atmosférico; sin embargo, la diferencia radica en el alcance y proyección del análisis de estas variables.

Tabla 1

Diferencias y similitudes entre la climatología y la meteorología

Características	Climatología	Meteorología
Objeto de estudio	Clima	Tiempo atmosférico
Tiempo	Largo plazo	Corto plazo
Tangibilidad	No visible	Visible, tangible
Variación	Varía lentamente	Varía instantáneamente
Condiciones atmosféricas	Se consideran la temperatura, humedad, viento, presión, precipitación como parte del estudio	

Nota: Adaptado de AMS (2021a), Rohli y Vega (2018) y Zúñiga y Crespo (2021).

En la Tabla 1, se indican algunos rasgos resaltantes que distinguen y comparten estas dos ciencias. En cuanto a las similitudes, se muestra que ambos estudian la atmósfera, no obstante, desde perspectivas distintas, por un lado, la climatología se aboca al estudio de los patrones que permanecen invariables por largos periodos (clima), mientras que la meteorología estudia las condiciones inmediatas de la atmósfera en un momento y espacio específico (tiempo atmosférico) (Zúñiga y Crespo, 2021).

1.4. Definiciones centrales del clima y el sistema climático

En la literatura científica, se señala que frecuentemente se confunden las definiciones de los conceptos de *clima*, *sistema climático*, *tiempo atmosférico*; sin embargo, se puntualiza que a pesar de la relación que pueden guardar, se presentan diferencias sustanciales entre ellas (Sanchis et al., 2018).

Bothe (2018) indica que no existe definición de clima que no haya sido objeto de discusión, por lo que, a lo largo de la historia de la geografía física, se han propuesto diversas concepciones de este término. La autora agrega, además, que su definición debe contemplar aspectos propios de la

ciencia atmosférica, políticos, así como ser entendible para el grueso de la población.

Por consiguiente, se afirma que, a lo largo de los años, se han propuesto distintas definiciones para este término. En un inicio, el significado de clima atendía principalmente a su etimología, palabra que proviene del griego klima ‘pendiente’ o ‘inclinación’, por lo que se creía que de acuerdo a la distancia que existía entre la línea ecuatorial y un lugar determinado, el clima variaba. De esta manera, se consideraba al grado de inclinación de los rayos solares que inciden en una región específica como elemento central en la variación del clima, es decir, el elemento diferenciador del clima era la temperatura (Méndez, 2017; Rohli y Vega, 2018).

No obstante, esta concepción del clima se fue modificando, debido a los avances científicos, por lo que se empezó a discutir si el elemento central y determinante del clima era la temperatura y se empezaron a integrar otras variables. Con el aporte de la creación de los observatorios meteorológicos, se empezó a considerar que en el clima interviene un conjunto de sistemas complejos, al respecto, el estudioso austriaco Julius von Hann indicó que es la confluencia de las condiciones atmosféricas que se presentan en un tiempo y momento dado (Méndez, 2017).

Actualmente, el clima es considerado como el promedio de las condiciones meteorológicas en un área determinada, estas condiciones son el resultado de la caracterización estadística a largo plazo de los elementos meteorológicos (SENAMHI [Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú], 2019).

En otra propuesta de definición, el clima es el promedio de las condiciones atmosféricas medidas en un periodo de 30 años (Lozano, 2018), tal como se observó a lo largo de este acápite, el clima es el resultado de una serie de condiciones que permanecen por largos lapsos en una determinada zona geográfica. Una propuesta similar se presenta, en Bothe (2018), según la cual el clima es el promedio estadístico de la temperatura.

En síntesis y para establecer la diferencia con el tiempo atmosférico, este último consiste en las condiciones de la atmósfera en un espacio y tiempo determinado, por lo que se caracteriza por su dinamismo constante. Asimismo, según Ahrens y Henson (2021), es producto de la confluencia de un conjunto de elementos, los cuales se describen a continuación:

- **Temperatura del aire:** el grado de calor o frío que se presenta en el medio aéreo.
- **Presión del aire:** la fuerza que ejerce el viento sobre un área en específico.
- **Humedad:** un aproximado de la cantidad de agua presente en el aire.
- **Presencia de nubes:** masas visibles de un conjunto de gotas de agua y/o partículas de hielo que se ubican por encima de la superficie terrestre.
- **Precipitación:** cualquier presentación de agua que cae desde las nubes sobre la superficie terrestre.
- **Visibilidad:** la capacidad para poder ver a largas distancias.
- **Viento:** el desplazamiento horizontal del aire.

Si se establece un promedio general de estos elementos por un largo período, se obtiene el clima de una región, por consiguiente, la diferencia principal entre estos dos términos (tiempo atmosférico y clima), si bien asociados, consiste en una perspectiva temporal: el tiempo atmosférico es cambiante a corto plazo, mientras que el clima es permanente por largos períodos (Ahrens y Henson, 2021).

En ese sentido, el clima, en simple palabras, es el promedio estadístico de las condiciones climáticas por un lapso extenso, este último, según las organizaciones oficiales, como el Organización Meteorológica Mundial, debe ser de 30 años, tal como señala el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2018), es la caracterización estadística del tiempo atmosférico, en relación con los promedios y las

variaciones de las magnitudes, principalmente, de la superficie terrestre, tales como la temperatura, aire, humedad, nieve, aire, precipitación, entre otros.

Por otra parte, el término *sistema climático* nace a partir de la consolidación de la Teoría General de los Sistemas, marco teórico que permitía estudiar los fenómenos naturales de manera integral. De acuerdo con este enfoque, el sistema climático es un entramado interactivo y retroalimentativo entre los subsistemas del planeta (Méndez, 2017).

De esta manera, se entiende que el sistema climático es producto de la interacción de un conjunto de subsistemas climáticos, los cuales son, de manera general, los siguientes: la criosfera, la hidrósfera, la atmósfera, la litósfera y la biosfera. Asimismo, se añade que este sistema climático no es estático, varía; no obstante, sus cambios son a lo largo plazo. Al respecto, algunos factores que inciden en su transformación son internos —tales como su propio dinamismo interno— o externos —como los fenómenos solares, fenómenos volcánicos, acciones directas o indirectas del hombre, también llamadas causas antropogénicas (IPCC, 2018).

1.5 Elementos y factores del clima

En Barrero (2017), se indica que el estudio y la predicción del clima se asocia estrechamente con la atmósfera, tanto con sus movimientos, composición y características.

Si nos ceñimos a los factores del clima, son características más o menos permanentes de un área en específica, es decir, se distinguen de acuerdo a la zona geográfica. Algunas variables a considerar son la latitud, el tipo de masa de aire y su movimiento —los cuales se determinan por el grado de humedad y la temperatura— y, por último, los factores propiamente físicos de las zonas, ya sean acuosas o sólidas, son la altitud, la profundidad marina, los suelos terrestres, los bosques, los glaciares, los ríos, lagos,

entre otros, los cuales crean los efectos climáticos en específico (Barrero, 2017).

Los elementos del clima son las variables que inciden en su caracterización, es decir, estos determinan su naturaleza, estos son la temperatura, los vientos, la precipitación y la presión. Asimismo, se indica que estos elementos climáticos son el producto de la interacción de los fenómenos físicos que suceden en el medio geográfico, por lo que su variación depende de los factores que condicionan un área en específico (Aguilera et al., 2020).

A continuación, se presenta una breve descripción de algunos de los elementos del clima:

- **Temperatura:** la temperatura es el resultado de la exposición de calor, en otras palabras, consiste en la agitación de las partículas de un cuerpo por efecto de la transmisión de calor. Algunas escalas de la medición de este elemento son Fahrenheit, Celsius, Kelvin, entre otros (Petersen et al., 2017).
- **Precipitación:** consiste en el conjunto de hidrometeoros, ya sea en estado sólido, líquido o la combinación de ambos, que caen por efecto de la gravedad y su gran tamaño (AMS, 2021b).
- **Presión:** este elemento es resultado del peso de las masas de aire, es decir, la presión es la fuerza que se ejerce sobre un área por efecto del peso del aire; de tal manera que, a mayor altura, se incrementa la presión del aire (Aguilera et al., 2020).

1.6. Estudios sobre el cambio climático en la última década

De manera amplia, el cambio climático es una variación del estado del clima perceptible y medible, a través de estudios estadísticos, de las modificaciones del valor medio. Asimismo, este cambio se mantiene por largos períodos de cambio (IPCC, 2018).

Por su parte, Aparicio (2019) indica que el cambio climático es una variación identificable en las variaciones promedio de las magnitudes descritas (temperatura, aire, precipitación, viento, entre otras). Las consecuencias más graves del cambio climático es el calentamiento global, fenómeno que, a pesar de tener un alcance mundial, no repercute de la misma forma ni en la misma magnitud en los distintos países del mundo. Al respecto, se indica que las naciones más afectadas son las que se encuentran en vías de desarrollo.

Figura 2

Cambio de los niveles del CO₂



Nota: Tomado de Sánchez (2016).

En la Figura 2, se muestran los niveles de CO₂ de los últimos 650.000 años del planeta Tierra. Al respecto, se advierte que, a partir de 1950, el incremento de la cantidad de este gas es sostenido: tiene una pendiente creciente. Numéricamente, se observa que, en 1950, el nivel de CO₂ es de 310 ppm, mientras que, en 2016, es decir, 66 años después, este aumentó a 400 ppm, este nivel constituye el pico más alto registrado hasta el momento.

Los efectos del cambio climático tienen grandes repercusiones en las condiciones naturales del planeta tierra y de sus habitantes. Si nos limitamos a la vida humana, se observa, en la literatura académica, que las mayores repercusiones negativas inciden en las poblaciones más vulnerables. A nivel de naciones, los habitantes de los países latinoamericanos son los más

afectados, tal como señala Martín et al. (2018), el cambio climático afecta a poblaciones menos favorecidas.

En una perspectiva más amplia, se apunta que el cambio climático repercute en diversos aspectos de la realidad, tanto desde una mirada desde la geografía, la economía, la biología, las ciencias sociales en general... En las investigaciones científicas, se señalan algunos ejemplos concretos del impacto del cambio climático, estos se asocian con la disponibilidad del agua, la producción agrícola, la salud de los seres humanos, la vitalidad de la existencia de especies botánicas como de la fauna, el nivel de los océanos, el descongelamiento de las crioformas, entre otros (Cantor et al., 2017).

CAPÍTULO II

CONCEPCIONES RELEVANTES DE LA ENERGÍA SOLAR: RADIACIÓN, IRRADIACIÓN E IRRIDIANCIA SOLAR

En física, la energía es la capacidad que posee un objeto para realizar un trabajo; el resultado de la fuerza que ejerce un cuerpo sobre otro se denomina trabajo. Dentro de los campos económico y tecnológico, la energía se entiende como un recurso natural que puede ser aprovechado y se subdivide por su capacidad de permanecer o agotarse. Las energías no renovables son aquellas que se agotan luego de ser aprovechadas, son limitadas en la naturaleza; las energías renovables no se agotan luego de ser aprovechadas, son ilimitadas en la naturaleza (Badii et al., 2016).

La energía solar es una alternativa dentro de las energías renovables emergentes; se espera que sea cada vez más común que se aproveche para generar energía solar fotovoltaica o solar-térmica. Pero para tener en cuenta la utilidad de la energía solar se deben conocer aspectos como la radiación solar; los dispositivos que se construyen para medir la irradiancia solar aportan una gran ayuda para comprender el comportamiento de los niveles de radiación y hacen posible crear otros dispositivos que utilicen la radiación solar para generar energía.

Se debe considerar, además, que las condiciones climáticas influyen en la irradiancia solar (Rodríguez et al., 2018). Un fenómeno bastante común en lugares de gran altitud es la irradiancia solar extrema; sin embargo, el factor más importante que genera irradiancia solar extrema es la presencia de nubes con cierta densidad y espesor. La reflexión y refracción provocada por las nubes propicia eventos donde se registran niveles extremos de irradiancia solar extrema.

2.1. Energía solar: fuente de energía renovable

Hoy en día existe una preocupación cada vez más creciente por utilizar fuentes de energía renovables e ir abandonando las fuentes convencionales de energía, que en su mayoría son fuentes de energía que, además de no renovarse, generan daños al ecosistema del planeta. Grandes corporaciones y países enteros tienen actualmente proyectos de negociación e inversión que buscan generar una energía más amistosa con el medio ambiente, así como aplicar sistemas sofisticados de celdas y paneles solares (Correa, 2017).

Se denomina energías renovables a las fuentes de energía que no se agotan. Al aprovechar las energías renovables una cantidad suya permanece constante y no cambia; se conversa en el universo (Badii et al., 2016). La energía eólica, fotovoltaica, solar térmica, hidráulica y nuclear son energías renovables.

La energía fotovoltaica y solar térmica se obtienen al aprovechar el sol. El sol es una estrella que se ubica a 150 millones de kilómetros del planeta tierra; se encuentra al centro de nuestro sistema solar (Gómez, 2019). Gracias al sol la vida en la tierra es posible debido a que interviene en procesos celulares, químicos y físicos, constituyendo un factor relevante en la formación, subsistencia y evolución de las especies de vida en la tierra.

Actualmente la energía solar es aprovechada por el ámbito de producción energética teniendo en cuenta sus dos características específicas:

- **La dispersión solar**, hace referencia al hecho de que apenas el 51 % de radiación solar llega a la tierra; además de este porcentaje, otro 26 % es dispersado por acción de la atmósfera como radiación difusa (Guzmán et al., 2016).
- **La intermitencia solar**, refiere a que la energía que se aprovecha del sol no está continuamente disponible. La producción de una fuente intermitente es esencialmente menor a su capacidad de producción potencial y fluctúa en periodos de tiempo cortos (Ejalde y Ponce, 2016).

Sin embargo, la energía solar sigue siendo una fuente óptima en virtud de que su potencia es mayor que la proporcionada por las demás fuentes que los seres humanos utilizan en la tierra.

2.1.1 Tipos de energía solar

Las energías generadas a partir de la energía solar se clasifican en energía fotovoltaica y solar térmica.

A. La energía fotovoltaica. Es la transformación directa de la radiación solar para su aprovechamiento en forma de electricidad. Su transformación es producida gracias a unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos; en ellos la radiación genera excitación de los electrones que se encuentran en un dispositivo de tipo semiconductor y generan una diferencia potencial pequeña. Por medio de la acción conjunta de varios dispositivos se llegan a obtener mayores diferencias de potencial (Spiegeler y Cifuentes, 2016).

B. La energía solar térmica. Es el aprovechamiento de la energía proporcionada por los rayos del sol para generar calor; es una energía limpia y respetuosa con el ambiente. Posee cierta capacidad de almacenamiento. Son dos los sistemas por medio de los cuales se puede producir este tipo de energía. El sistema de baja concentración es el más difundido a nivel comercial; trabaja empleando conectores de luz que se encuentran instalados en los techos de las casas. Ambos sistemas operan a temperatu-

ras entre 100 y 400 °C; la energía térmica que procede de los rayos solares va hacia los captadores y así se calienta el fluido que circula en su interior, compuesto por agua con anticongelante (Spiegeler y Cifuentes, 2016).

Se estima que, a la larga, el desarrollo de energías como la solar-fotovoltaica será comparable a la producida por los combustibles fósiles; los reportes gubernamentales y no gubernamentales sobre el consumo energético a nivel mundial han permitido concluir que los costos de inversión en plantas solares fotovoltaicas son competitivos y acarrea ventajas y poco mantenimiento (Gerena et al., 2020).

2.2. Radiación solar y su importancia

Se conoce como radiación solar o constante solar la cantidad de energía que recibe la atmósfera terrestre de parte del sol por cada unidad de tiempo y unidad de superficie sobre su superficie perpendicular al sol. La atmósfera recibe una radiación solar promedio de $1\,367\text{ W/m}^2$, aunque a nivel del suelo llega a variar entre 0 y $1\,000\text{ W/m}^2$ aproximadamente (Chambi, 2018). El conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol es la radiación solar; se compone por las frecuencias que son perceptibles para el ojo humano, la radiación en su vertiente luminosa; y las frecuencias radiadas por el sol, la energía presente en ellas o espectro electromagnético. La energía solar absorbe y almacena radiación solar genera calor y electricidad. La radiometría y fotometría son las ciencias encargadas de estudiar estos campos.

La radiometría se encarga de describir desde una fuente hacia un detector la transferencia de energía; la fotometría describe esta transferencia de energía, pero normalizada a la respuesta espectral del ojo humano (Gómez, citado por Gutiérrez et al., 2020). La radiación solar sobre la superficie terrestre puede ser de cuatro tipos. En la Tabla 2, se las enumera.

Tabla 2

Tipos de radiación solar global

Tipos de radiación	Símbolos	Descripción
Radiación directa	I_D	Es el tipo de radiación que llega directamente a la superficie terrestre del sol sin haber sido alterada en su dirección; proyecta una sombra definida de los objetos que la interceptan.
Radiación difusa	I_s	Es la parte de la radiación solar que al atravesar la atmósfera es reflejada o absorbida por las nubes y como consecuencia va en todas las direcciones; además sufre absorción y reflexión por efecto del polvo atmosférico, edificios, suelo, etc. No produce sombra.
Radiación reflejada	R	Es la radiación reflejada por la superficie de la tierra. Las superficies horizontales no reciben esta radiación; las superficies verticales son las que más radiación de este tipo reciben.
Radiación global	I_T	Es la radiación producida por la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada. Su cálculo se realiza mediante la ecuación: $I_T = I_D + I_s + R$

Nota: Adaptado de Chambi (2018).

2.2.1 Radiación solar ultravioleta

La radiación solar ultravioleta se distingue de los demás tipos de radiación porque lleva mucha energía y por ello interfiere con los enlaces de las moléculas; tiene la menor longitud de onda, de entre los 10 nm y 400 nm (Wilches et al., 2021). La manera en que se clasifica la radiación ultravioleta es en UVA, que tiene una longitud de 315 nm a 400 nm; UVB, que tiene una longitud de 280 nm a 315 nm; y UVC, que tiene una longitud de entre 180 nm a 280 nm (Dedios et al., 2017). Además de la clasificación convencional se clasifica la luz ultravioleta de acuerdo con su longitud de onda. En la Tabla 3, se comparan ambas clasificaciones.

Tabla 3

Clasificaciones de la luz ultravioleta de acuerdo con la longitud de onda

Clasificación convencional o en ciencias de la tierra	Longitud de onda	Clasificación astrocientífica	Longitud de onda
UVA	320-400 nm	UV cercana (NUV)	300-400 nm
UVB	280-320 nm	UV media (MUV)	200-300 nm
UVC	200-280 nm	UV lejana (FUV)	100-200 nm
		UV extrema (EUV)	10-100 nm

Nota: Tomado de Wilches et al. (2021).

La mayor fracción de radiación ultravioleta que llega a la tierra es UVA; el 5 % de la radiación UVB está presente en la luz solar; la capa de ozono tiene la propiedad de filtrar los rayos UVC (Vangipuram y Feldman, 2016). La radiación ultravioleta, por ser un tipo de radiación entre no-ionizante e ionizante, produce varios efectos en la salud. Los UVA son la parte menos dañina de la radiación UV, representan alrededor del 6 % de la radiación solar total; los rayos UVB causan una variedad de daños a las plantas, representan aproximadamente el 1,5 % del espectro total; la UVC es un tipo de radiación ultravioleta sumamente peligrosa para los organismos, la capa de ozono presente en la estratósfera filtra la mayor parte de esta radiación (Surjadinata et al., 2017). El instrumento con el que se mide la radiación ultravioleta es el radiómetro.

2.3. ¿Qué se entiende por irradiación e irradiancia solar?

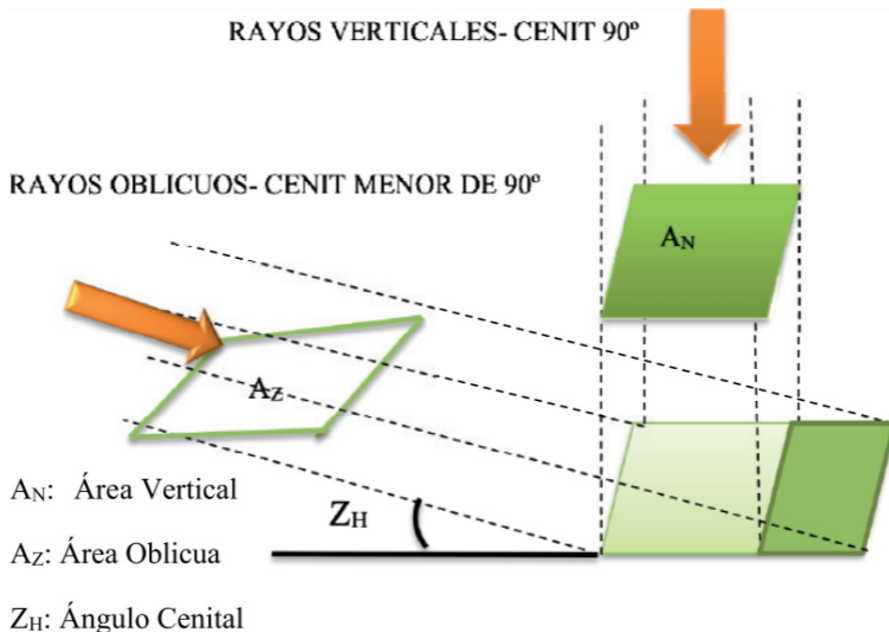
A la radiación solar, como otras energías, se le puede asignar una magnitud; las magnitudes físicas son cantidades medibles en un sistema físico a las que se le pueden asignar valores. La irradiancia es la magnitud de la radiación solar global que mide la energía teniendo en cuenta la unidad de tiempo y área, su unidad es el vatio por metro cuadrado que se repre-

senta mediante la fórmula ; la irradiación es la suma de las irradiancias y mide la energía solar teniendo en cuenta un periodo de tiempo dado, es igual a por cada hora, día, etc. (Chambi, 2018).

La irradiación de sol, cuando la Tierra está a una distancia al Sol de 1 UA, arriba de una superficie normal a la dirección Tierra-Sol, en el tope de la atmósfera (TOA) se conoce como irradiancia solar total (Laguarda, 2021). Presenta minúsculas variaciones a lo largo del tiempo relacionadas a la actividad del sol, su valor medio a largo plazo se conoce como constante solar. Ahora bien, la intensidad máxima de irradiación sobre una superficie se consigue cuando el incide de forma perpendicular sobre ella; cuando la incidencia no es perpendicular disminuye parte de su radiación y, por tanto, su intensidad (Cañibano y Confalone, 2020).

Figura 3

Comportamiento del Sol cuando se aleja del cenit



Nota: Tomado de Cañibano y Confalone (2020).

La irradiancia se calcula midiendo la potencia en Watts sobre el área en metros cuadrados (P/A). Los componentes de la irradiancia solar se mencionan en la Tabla 4.

Tabla 4

Componentes de la irradiancia solar

Nombre	Símbolo	Descripción
Irradiancia extraterrestre	G_0	Es la tasa de energía que índice por unidad de área en un plano horizontal imaginario situado en la parte superior de la atmósfera
Irradiancia directa normal	G_n	Es la tasa de energía por unidad de área proveniente del sol que índice perpendicularmente a la superficie
Irradiancia difusa horizontal	G_{dif}	Es la tasa de energía que incide sobre una superficie horizontal por unidad de área, resultado de la dispersión del rayo solar directo por los componentes de la atmósfera
Irradiancia directa horizontal	G_{dir}	Es la tasa de energía por unidad de área del rayo solar directo sobre una superficie horizontal; también se determina como el producto entre la irradiancia directa normal y el coseno del ángulo cenital solar, es decir: $G_{dir} = G_n \cos(\theta_z)$
Irradiancia global horizontal	G	Es la tasa de energía total por la unidad de área incidente sobre alguna superficie horizontal. Viene dada por la suma de la irradiancia difusa horizontal con la directa horizontal, es decir: $G = G_{dif} + G_{dir}$ ó $G = G_{dir} + G_n \cos(\theta_z)$
Irradiancia en el plano inclinado	G_i	Es la tasa de energía total por unidad del área incidente en un plano inclinado en la latitud de la ubicación relacionada con la superficie del planeta tierra

Nota: Tomado de Pereira et al. (2017).

La irradiación solar $\left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2}\right)$ es la energía por unidad de superficie a lo largo de un determinado tiempo. Luna et al. (2020) señalaron que se podía calcular la irradiación solar mensual o $G_{\text{dm}}(0)$ sobre una superficie horizontal aplicando el método de Angstrom modificado por Prescott, cuya fórmula es:

$$\frac{G_{\text{dm}}(0)}{Bo_{\text{dm}}(0)} = a + b\left(\frac{n}{N}\right)$$

Donde:

n son las horas diarias de brillo,

$G_{\text{dm}}(0)$ es el promedio diario mensual de la irradiancia solar extra-terrestre sobre superficie horizontal y

N la máxima duración de brillo del sol.

La irradiación solar también se puede presentar en un determinado momento conocido como hora solar pico (HSP); a la hora solar pico se le denomina insolación. Para estimar los parámetros de radiación solar se tienen en cuenta la duración real de la insolación (h) y la duración máxima posible de insolación (h_0), cuyas representaciones son S y S_0 respectivamente (Ruiz et al., 2019).

2.4. Instrumentos que miden la irradiancia solar

La irradiancia solar se mide por medio del pirheliómetro o del piranómetro.

- El **pirheliómetro** es un radiómetro que usa el mismo principio de medida de la radiación solar directa;
- El **piranómetro** es un instrumento diseñado para medir la irradiancia solar global y difusa.

Tabla 5

Cuadro comparativo entre los instrumentos para medición de la irradiancia solar

Características	Pirheliómetro	Piranómetro
Tipo de radiación que mide	• Radiación solar directa	• Radiación global. • Radiación difusa.
Rango espectral	• 300 nm a 3000 nm	• 300 nm a 3000 nm
Campo de visión	< 5°	180°
Accesorio necesario	• Seguidor solar	• Si mide radiación global: Ninguno. • Si mide radiación difusa: Dispositivo de sombreado; Anillo sombreador o bola sombreadora y Seguidor solar.
Accesorio opcional		• Si mide radiación global: Unidad de ventilación.

Nota: Adaptado de Dibene et al. (2018).

Figura 4

Pirheliómetro mostrando protector de la lluvia y apoyos de alineación



Nota: Tomado de Dibene et al. (2018).

Figura 5

Piranómetro CM P6, fiable en todas condiciones climáticas



Nota: Tomado de Chambi (2018).

Se muestran el pirheliómetro y el piranómetro en la Figura 4 y Figura 5, respectivamente.

2.5. Eventos extremos promovidos por la irradiancia solar

La irradiancia solar en ciertas condiciones puede producir eventos extremos; los eventos extremos de irradiancia solar se definen por un nivel de radiación por encima de la estándar; incluso por encima de la constante solar. Existen variables climatológicas que pueden influenciar el nivel de irradiación solar tales como el brillo solar o heliofonía, temperatura, humedad relativa, nubosidad, presión atmosférica, velocidad del viento, evaporación y precipitación. El nivel de radiación solar mayor al

estándar puede producir daños al funcionamiento de las células fotoeléctricas o fotovoltaicas. Las células conforman un dispositivo que permite transformar la energía presente en los fotones de luz en energía eléctrica para generar energía solar fotovoltaica (Guzmán et al., 2016).

Dentro de los factores que afectan la radiación el más significativo es la nubosidad. La nubosidad afectaba de manera poco predecible y perjudicial a los sistemas fotovoltaicos debido a la variación que produce en la irradiancia solar; las nubes comprenden fenómenos tales como la reflexión y refracción, tales factores dependen de la densidad y espesor presente en las mismas.

Quispe et al. (2021) señalan que hay estudios donde se ha observado que los picos de irradiancia solar ocurren en condiciones climáticas parcialmente nubladas, esas condiciones pueden aumentar la luz solar 1.5 aún en latitudes muy altas; en ciertas condiciones las nubes amplifican GSI a valores que son superiores a 1000 y llegan a causar irradiancia solar muy extrema (irradiancia extraterrestre > 1367).

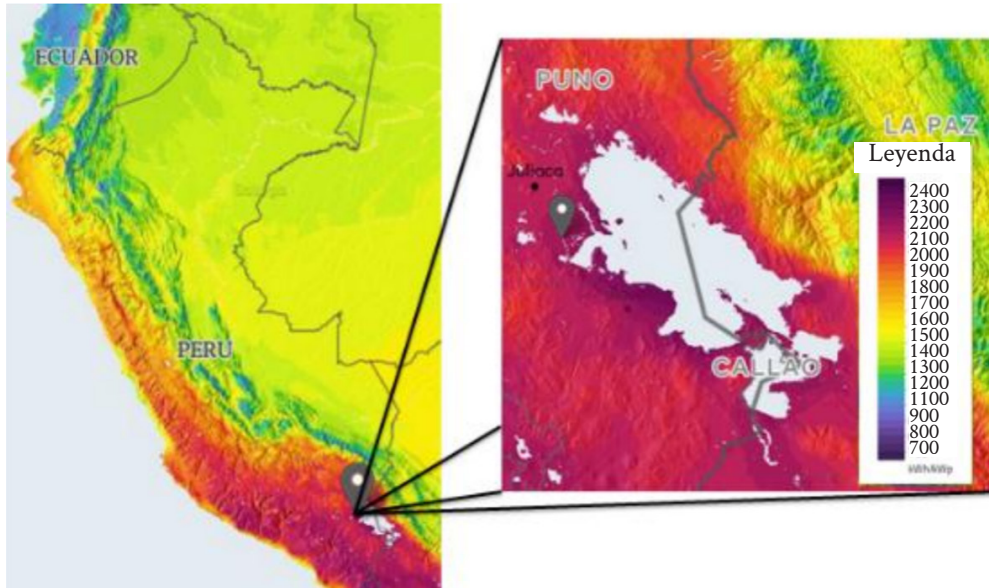
La irradiancia solar extrema es un fenómeno que ocurre cuando se forman nubes alrededor del sol y debido al paso transitorio de la lluvia en periodos de tiempo cortos; también se propicia gracias a condiciones climáticas propias de lugares que se encuentran, por ejemplo, a 3812 m.s.n.m. (Ramos et al., 2020). Existen, pues, lugares donde además de las condiciones de nubosidad la altitud va a provocar mayor incidencia de la irradiancia solar extrema; lugares cercanos al lago Titicaca presentan una irradiancia solar con niveles extremos.

En una investigación realizada por Chura et al. (2021) se señaló que Juliaca es un lugar con gran potencial de energía solar; sus condiciones geográficas son consideradas extremas y presenta niveles de radiación solar extremos. La posibilidad de aprovechar las condiciones de irradiancia solar extrema para generar más energía solar fotovoltaica debe estudiarse y

discutirse pues suponen un interés nacional, asimismo deben ponerse en marcha para implementar tecnologías más óptimas.

Figura 6

Potencial de energía solar en Puno



Nota: Tomado de Chura et al. (2021).

CAPÍTULO III

ASPECTOS GENERALES DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR

La energía fotovoltaica es la fuente eléctrica que se consigue mediante los fotones que proceden de la luz solar a través de células solares fotovoltaicas. Este tipo de energía es cada vez más primordial en cada territorio, con la finalidad de alcanzar un mejor desarrollo sostenible. Así mismo, para la obtención de electricidad a través de energía fotovoltaica se requiere de paneles y/o módulos fotovoltaicos planos, cuya fabricación se obtiene de células solares fotovoltaicas.

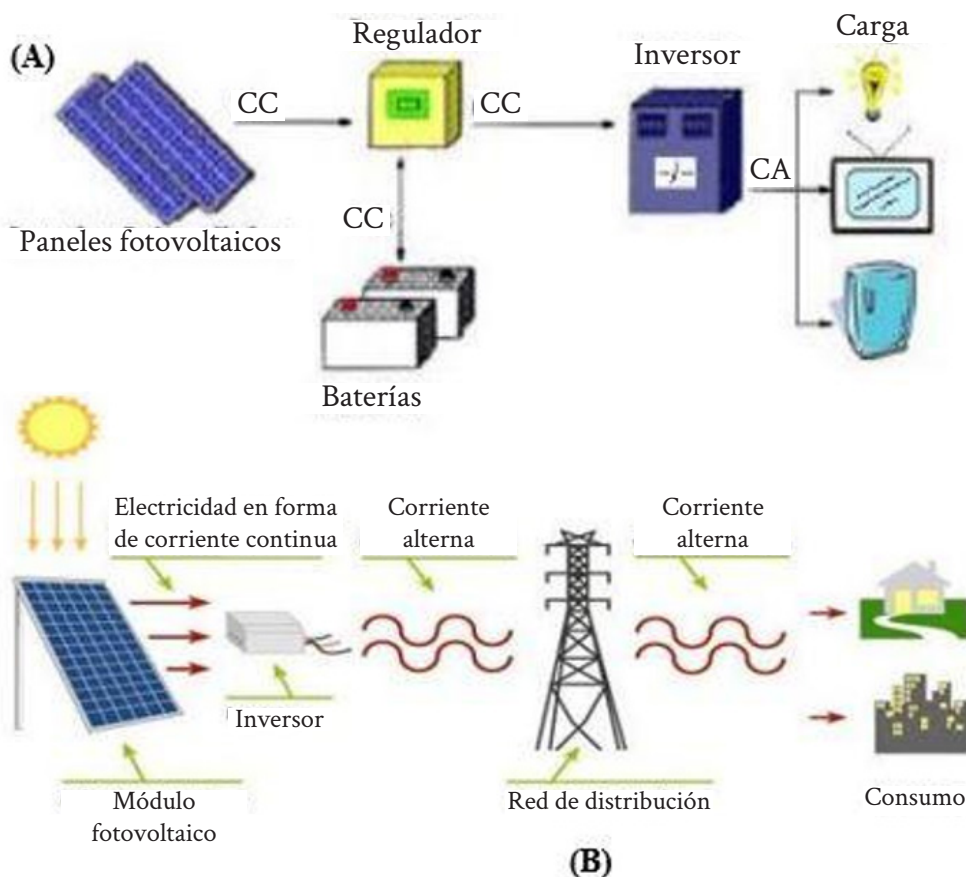
El módulo fotovoltaico es el componente encargado de desarrollar la radiación solar y luego, transformarlo en energía eléctrica. En ese sentido, la eficiencia que muestran los módulos fotovoltaicos está fijada por el porcentaje de energía eléctrica establecida en correlación con la cantidad de energía recibida por la radiación del sol. Los factores que determinan y perjudican su rendimiento de un módulo fotovoltaico, son las siguientes: la energía de la luz solar debe incidir una cierta cantidad de energía al módulo fotovoltaico, la reflexión de los rayos que inciden en el módulo, los efectos de la sombra impiden la radiación solar en el módulo, los efectos

de la inclinación del módulo fotovoltaico, los efectos de la temperatura, entre otros (Gómez, 2021).

Es preciso mencionar, que la energía solar a través de un módulo fotovoltaico es la más proporcionada y utilizada en toda la tierra, ya que puede brindar beneficios a varios sectores del territorio. En el país de Colombia, Gómez (2018), indica que la energía fotovoltaica se utiliza en varias áreas del país: como en el sector comercial (salud, educación e inmobiliaria), en residenciales (viviendas y edificios), ayuda para la electrificación en hogares aislados y es utilizada para las telecomunicaciones.

Figura 7

Modos de instalaciones del sistema Fotovoltaico



Nota: Tomado de Pozo (2019).

En la Figura 7, se muestran las dos modalidades de instalación a través del sistema fotovoltaico. Por un lado, en (A) ocurre que el sistema fotovoltaico se encuentra aislado de la red eléctrica, por lo que, se requiere que la energía eléctrica se encuentre almacenada en una batería para que después sea distribuida en cualquier momento y lugar; asimismo, este tipo de instalación se necesita para los sectores que se encuentren alejados de una red eléctrica. Por otro lado, en (B) ocurre que el sistema fotovoltaico se encuentra conectado a la red eléctrica, por lo que no se requiere de baterías ya que de manera directa entrega energía eléctrica.

Por otro lado, los microcontroladores son como una placa integrada de programación. Cuya formación está integrada por un conjunto de elementos conectados de una manera muy concreta. E incluso, tiene la capacidad de ejecutar una serie de instrucciones que han sido ordenadas anteriormente. De esta forma, los microcontroladores están integrados por tres componentes, y estas son: un CPU, una memoria y patillas de entradas/salidas. En relación con lo anterior, el módulo NODEMCU ESP8266 es un microcontrolador para la conexión a Wi-Fi; su funcionalidad está sujeta a una estación, donde se conecta a través de un router y punto de acceso, cuando se quiere conecta dispositivos tecnológicos a una red de Wi-Fi (Castro, 2018).

Este capítulo se enfoca el estudio del sistema fotovoltaico y el microcontrolador NODEMCU ESP8266. Lo primero se centrará sobre el módulo fotovoltaico y de la célula solar fotovoltaica como unidad primaria para la fabricación de un módulo fotovoltaico. Y lo segundo, se abordará sobre los aportes de la informática, dentro de ella, se define el Microcontrolador NODEMCU ESP8266 y la utilización de dicho microcontrolador.

3.1. ¿Qué es el módulo fotovoltaico?

Para entender sobre el módulo fotovoltaico, es necesario precisar acerca de la energía solar que es influyente en el sistema fotovoltaico. La energía solar es dicha energía que se obtiene de la captación del calor y la

luz emitidos por la energía solar. La energía que proviene del calor se denomina energía solar térmica; y por otro aspecto, la energía que proviene de la luz se denomina energía solar fotovoltaica. Esta última energía solar fotovoltaica, con la energía del sol se provoca la electricidad. Y para que dicha energía produzca energía eléctrica se utilizan los llamados paneles y/o módulos fotovoltaicos.

Dicho en líneas de arriba, el modelo fotovoltaico es el conjunto de mecanismos que permite captar el sol y pueda transfórmala en energía eléctrica. En ese sentido, el Ministerio de Energía (2016), señala que el modelo fotovoltaico es el principal componente del sistema fotovoltaico —es el que transforma la energía solar en energía eléctrica— y cuya finalidad, con la ayuda de la energía del sol produce la energía eléctrica de corriente continua. Gracias a estos módulos fotovoltaicos ocurre un gran avance tecnológico en todo lo que es la eficiencia, seguridad y calidad de energía eléctrica.

Ahora bien, dentro de la energía solar de tipo fotovoltaico, alrededor de un 84 % de energía solar, incide en un módulo fotovoltaico ordinario de silicio monocristalino, que se convierte en calor y el 16 % sobrante se transforma en electricidad (Torrico y Gullón, 2021).

De esta forma, para Planas (2015), el módulo fotovoltaico está compuesto por una serie de celdas fotovoltaicas conectadas entre ellas. Incluso, el panel o módulo fotovoltaico es un tipo de panel solar, que se encarga de convertir de un modo directo la energía de la radiación solar en la propia electricidad, en forma de una corriente continua.

Así mismo, en la Figura 8, se muestran los pasos para la fabricación de un Módulo fotovoltaico. Lo que implica una serie de procesos para la obtención del módulo, cuyo inicio comienza con la elección de la célula solar fotovoltaica y termina con el marco del Módulo fotovoltaico.

Figura 8

Fabricación de un módulo fotovoltaico



Nota: Tomado de Electricidad Gratuita, citado por Pozo (2019).

En síntesis, el módulo fotovoltaico está conformado por un conjunto de células solares fotovoltaicas, que se conecta eléctricamente y se encuentra encapsuladas en una estructura de marco

3.1.1. Módulo fotovoltaico calibrado

Para que un módulo fotovoltaico sea calibrado requiere de instrumentos que mida la energía de la irradiancia solar, la cantidad de luz que se está recibiendo por lo que el módulo fotovoltaico será calibrado de manera exacta. Asimismo, se necesita de las medidas de la luz solar, para la fabricación de un módulo fotovoltaico calibrado (Nakama, 2017).

Por otro lado, AutoSolar (2021) informa que para la calibración de una correcta instalación de un módulo fotovoltaico es necesario preguntarse

al respecto, ¿Qué cantidad de energía es precisa obtener?, ¿Cuánto es el espacio que se dispone para los paneles? y ¿Cuál es el comportamiento de consumo para la fabricación de paneles? Asimismo, según el voltaje que se requiere obtener de un módulo estará constituido la cantidad de células solares fotovoltaicas para la fabricación de un módulo FV.

En ese sentido, un módulo fotovoltaico calibrado debe regir por unos vitales parámetros —según Ranero (2021)— la potencia que proporciona una célula solar FV de medida (16×16 cm) es demasiada pequeña teniendo 5W, por lo que se requiere la asociación de varias células para suministrar la energía requerida al sistema. Por ello, existen dos tipos de conexión entre las células solares: la conexión en serie que permite incrementar la tensión final de los extremos y la conexión en paralelo que incrementa la intensidad total de las células solares en conjunto. Además, se debe de contrastar el rendimiento entre la producción de la energía de la célula solar fotovoltaica y la energía del sol que ingresa, cuya eficiencia será evaluada.

Y síntesis, a través del estudio de Ayuso (2021), se realiza un módulo fotovoltaico calibrado directamente para su instalación en un área de servicio. Por lo que describe, que el panel FV esta conformadas de células solares de silicio monocristalino de medida de 156 mm^2 , y la caja de conexión se proporciona tres diodos de derivación para impedir la pérdida de energía de la sombra parciales entre los módulos, donde así no se pueda sobrecargar el circuito eléctrico.

En la Tabla 6, se muestran las características específicas eléctricas de un módulo FV calibrado notándose de los números derivados que cada parámetro presenta. Por ejemplo, la potencia máxima del módulo PV es de 500 Wp, la tensión máxima de potencia es de 45 V, la temperatura varía de 45-85 °C y el máximo voltaje es de 1500 V. Todas estas especificaciones eléctricas son medidas por lo cual debe presidir para un módulo fotovoltaico calibrado. Incluso, se tiene en consideración el número de inclinación en el momento de la instalación de dicho módulo fotovoltaico.

Tabla 6

Especificaciones eléctricas de un módulo FV calibrado

Especificaciones eléctricas	Pirheliómetro
Potencia máxima	500 W _p
Corriente de cortocircuito	11.77 A
Tensión de circuito abierto	53.7 V
Corriente de máxima potencia	11.12 A
Tensión de máxima potencia	45 V
Eficiencia	21 %°
Temperatura de operación	-45...+85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V

Nota: Tomado de Ayuso (2021).

3.2. Célula solar fotovoltaica: parte principal del módulo fotovoltaico

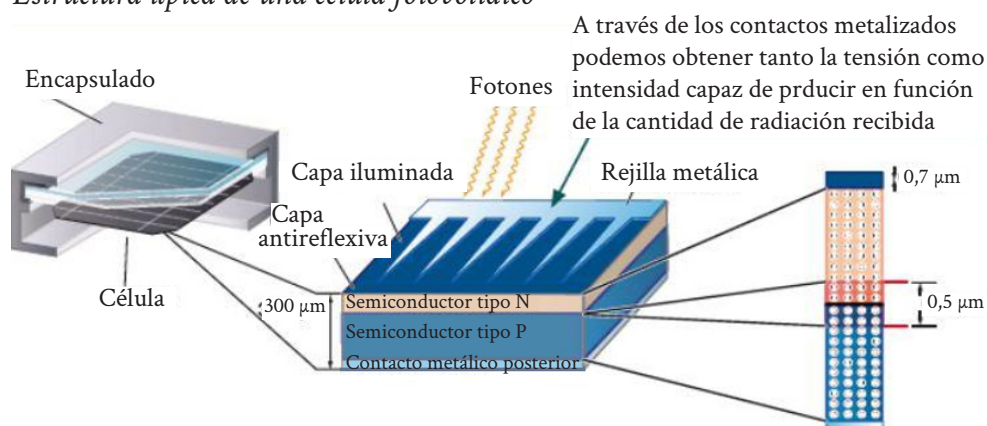
El celular solar fotovoltaico es la pieza central y fundamental para adquirir un panel fotovoltaico, como indica (Martín, 2019), es el componente principal para realizar una instalación fotovoltaica. Cuyo dispositivo se encarga de generar la energía eléctrica a través de los fotones solares que inciden en la superficie de la energía solar. Este dispositivo actúa como un diodo, lo cual permite el manejo eléctrico en una única dirección.

Cuando una célula fotovoltaica tiene bajas tensiones de voltios, al tener insuficientes tensiones, se necesita conectar un conjunto de decenas de células, lo que se obtiene el módulo fotovoltaico. Y antes que este módulo salga a la venta, se debe ser medido una serie de ensayos que calcule el resultado eléctrico, térmica, y entre otros (González, 2020).

Una celda o célula solar es un dispositivo capacitado para convertir la energía de la luz en electricidad, y para conseguir este objetivo se requiere fabricar materiales de dos semiconductores, un semiconductor donador de electrones (tipo N) y otro de semiconductor aceptadores de electrones (tipo P). Y una vez que la radiación solar (la luz) origina conexión con un semiconductor esta se convierte en una energía eléctrica (Adrián, 2020; Díaz y Toro, 2019).

Figura 9

Estructura típica de una célula fotovoltaica



Nota: Tomado de Martín (2019).

Se muestra en la Figura 9, la estructura típica de una célula fotovoltaica. En donde el semiconductor de tipo N se halla expuesta a la luz solar, lo que le permite formar una rejilla metálica; por el contrario, el semiconductor P se encuentra recubierto por el metal que fue expuesto por el semiconductor de tipo N, debido a que no está expuesto por ninguna capa luminosa.

3.2.1. Clasificación de células o celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaico que más sobresale en el mercado son las celdas de silicio porque está sujeta a dos factores: por un lado, es un buen semiconductor para la fabricación de módulos fotovoltaicos; y, por otro lado, es el segundo elemento más cuantioso en la tierra (Gómez J. , 2018).

Según Pozo (2019), expone que las células solares fotovoltaicas se clasifican en:

- **Silicio monocristalino:** este tipo de célula se conforma por un solo tipo de cristal que se consigue a partir de barras cilíndricas. Para Díaz y Toro (2019), este tipo de silicio presenta una alta pureza de sólido y conforma una estructura cristalina azul uniforme perfecta.
- **Silicio policristalino:** su eficiencia en convertir la luz solar en energía solar es menor de 12 %. El costo es más económico que el silicio monocristalino, y esta estructura en cristales de tonos azulejos. El rendimiento en laboratorio es de 20 %, en comparación de un silicio monocristalino que tiene un 24 % (Bustamante y Chávez, 2018).
- **Silicio amorfo:** su eficiencia en convertir la luz solar en energía solar es menor de 7 %; sin lugar a duda, es el más barato, pero son menos duraderas. Sin embargo, son útiles para el uso de calculadoras y otros aparatos de energía. Una de las ventajas y desventajas de este tipo de célula solar, indica Gómez (2018), son las más económicas del mercado, sin embargo, tiene un bajo eficiencia y se requiere de otros materiales para la elaboración de un módulo fotovoltaico.

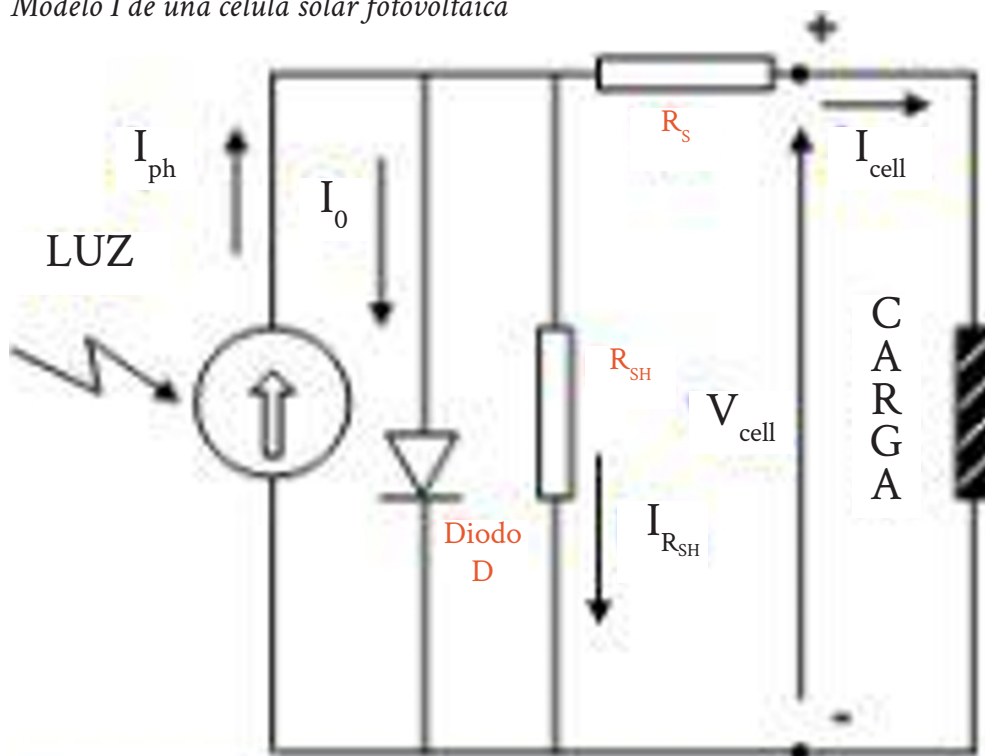
Sin embargo, para Cucaita y Cabeza (2017), debido a que la célula solar de Silicio muestra algunas limitaciones —como el precio alto de inversión y son pocos sostenibles— se emplean otros materiales de semiconductores. Y estas son las células solares de lámina delgada: Teluro de Cadmio, Arsenio de Galio, Células CIGS (Diseleniuro de cobre en indio, Arsenio de Galio) y las células orgánicas fotovoltaicas de hetero-unión. Estas láminas delgadas permiten adecuarse a las superficies irregulares; e incluso, muestran características positivas como: existencia de absorción de la luz solar, bajo precio de inversión y un alto rendimiento para el proceso de fabricación.

3.2.2. Modelo de celular o celdas fotovoltaicas

Para la creación de las células fotovoltaicas se necesitan de dos tipos de semiconductores: de tipo P y tipo N. Entre las células fotovoltaicas generan una fuerza eléctrica que produce una corriente proporcional a la irradiancia solar sobre ellas. A través de la célula solar de Silicio se constituye las células fotovoltaicas con la unión de tipo P y tipo N. Según Gimeno et al. (2014), indica que el circuito equivalente de una celda fotovoltaico se establece en dos modelos:

Figura 10

Modelo I de una célula solar fotovoltaica



Nota: Tomado de Gimeno et al. (2014).

En la Figura 10, se muestra el modelo I de un circuito equivalente de una célula fotovoltaica. Donde sus componentes se representan en:

- I_{ph} : es una fuente de corriente directa de valor igual a la máxima corriente que puede formar la célula.
- Diodo D : representa a la célula solar fotovoltaica que surge de la unión de dos semiconductores (tipo P y tipo N).
- R_{SH} : ocurre a la no idealidad de la unión tipo P-N y a las impurezas de la unión de los semiconductores.
- R_s : ocurre a la resistencia del volumen de los semiconductores y de los contactos.

Figura 11

Modelo II de una célula solar fotovoltaica

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\left[\frac{q(V_{cell} + I_{cell}R_s)}{mKT} \right]} - 1 \right) - \frac{V_{cell} + I_{cell}R_s}{R_{SH}}$$

- I_{cell} → Corriente generada por la célula (o el módulo),
- R_s → Resistencia serie.
- I_{ph} → Corriente máxima generada por la célula.
- R_{SH} → Resistencia paralelo (shunt)
- I_0 → Corriente de oscuridad.
- q → Carga del electrón (1.6×10^{-19} C)
- m → Factor de idealidad del diodo
- I_0 → Cont. de Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)
- V_{cell} → Tensión de salida de la célula.
- T → Temperatura absoluta.

Nota: Tomado de Gimeno et al. (2014).

En la Figura 11, se muestra el modelo II de una corriente que es formada por una célula fotovoltaica representado en ecuación matemática.

3.3. Funcionamiento del módulo fotovoltaico

Como se mencionó en el anterior apartado, la célula solar fotovoltaica está compuesta por dos semiconductores: uno de tipo N, y otro de tipo P. El semiconductor de tipo N tiene una carga negativa, en donde, concede electrones en la capa iluminada del módulo; y el semiconductor de tipo P tiene una carga positiva, en donde, recibe electrones. El flujo de electrones va direccionado del semiconductor de tipo N hasta el semiconductor de tipo P. Con el hecho, de aumentar la cantidad de electrones y espacio en las capas tipo N y tipo P, respectivamente.

Ante ello, para que surja un efecto fotovoltaico, la célula solar está sujeta por dos procesos: generación y recombinación, respectivamente. El primero, la radiación solar incide sobre el material semiconductor emitiendo una energía superior de electrones, y cada espacio es ocupado por otro electrón en la superficie inferior. El segundo, a través de una recombinación de electrones en la superficie inferior, el recorrido de electrones se cierra para no derrochar los electrones recibidos, cuyo proceso va estableciendo un circuito eléctrico (Bárez, 2019).

3.4. Aporte de la informática

La informática, en especial los dispositivos electrónicos, interactúan de manera constante con la población, e incluso, es una necesidad de poder comunicarnos con otras personas de lugares alejados. Mediante la conexión de WIFI, los ciudadanos pueden interactuar unos con otros a través de dispositivos tecnológicos, por lo cual se requiere el uso del internet. En ese sentido, las tecnologías de comunicación conllevan la existencia de una red inalámbrica para que los dispositivos estén conectados de manera constante a internet. Asimismo, las redes inalámbricas se utilizan

para el libre acceso de información desde los sitios que no cuentan con conexión.

Para Suarez (2021), el WIFI es el patrón de redes inalámbricas que es dominante en los rincones de la ciudad. Entre las variadas ventajas se localizan una gran diversidad de dispositivos que se acoplan a la tecnología hoy en día, su movilidad lo que le permite moverse su punto de acceso sin impedir la conexión y su escalabilidad que proporciona la ampliación de las redes comunicativas.

3.4.1. ¿Qué se conoce por Microcontrolador NODEMCU ESP8266?

Un microcontrolador es un circuito que se encuentra programado en su interior, donde cumple con la función de ejecutar los programas que el usuario le ordena; es decir, es como un hardware que contiene memoria, CPU y periféricos de entrada y salida para la conexión. A continuación, solo se tendrá en consideración el Microcontrolador NODEMCU ESP8266.

Un Microcontrolador NODEMCU ESP8266 —según Ceja et al. (2017)— lleva el nombre de una empresa China que se denomina Espressif Systems, ubicada en la sede de Shanghai. En el 2014, tuvo una alta producción de venta, en lo que era considerada un chip que contendría una excelente producción de red de Wifi. Asimismo, este tipo de microcontrolador está impactado a un chip SMT (Surface Mount Technology).

Mientras tanto, para Silveira (2020), el microcontrolador NodeMCU ESP8266 es un chip de Wifi de precio bajo, y que fue fabricado en el 2013. Es aprovechado como un módulo de apoyo para los demás microcontroladores, lo cual permite la conexión de red Wifi y la transferencia de datos. Asimismo, este microcontrolador es antecesor del microcontrolador ESP32.

En ese sentido, entre sus características del microcontrolador NodeMCU ESP8266 son: tiene una capacidad de memoria externa de 64KB, tiene 16 pines (entrada/salida), muestra un inversor ADC de 10-bit, tiene un CPU de 32-bit, un soporte de autenticación y/o seguridad, interfaz de red Wifi y cuenta con un 96 KB para información de datos (Alandes, 2021).

3.4.2. Utilización del Microcontrolador NODEMCUESP8266

Como base de conocimiento, para Baque (2020), indica que un microcontrolador se utiliza para unas variadas aplicaciones como el manejo de sensores, el control de calculadoras, para secuenciador de luces, el control de motores y relojes, etc.

El uso del microcontrolador, especialmente el NODEMCU ESP8266, cumplen con funciones primordiales de control, de monitoreo y de automatización en tiempo preciso. Estas funciones mencionadas se realizan debido a la instalación de las herramientas de hardware y software necesarias que le permite disponer de la comunicación por medio de Wi-Fi (Valderrama y Brea, 2018).

En relación con lo anterior, el microcontrolador ESP8266 es el más común y utilizado para entrar en conexión con el WIFI. Con el hecho de la conectividad a internet, la utilización de la placa se emplea para el control de relés mediante un interruptor, usos de sensores como los sensores de temperatura y de humedad, el envío de información a internet y control industrial. Mientras tanto, el modo de funcionamiento del microcontrolador NODEMCU ESP8266 se aplica en maneras distintas, como la operación con un cliente lo que le proporciona acceder a servicios que proveen servidores para el envío y recepción de información, la operación con un cliente seguro lo que le proporciona e incluye un protocolo de comunicación de seguridad, la creación de otros servidores que le proporciona el acceso libre a clientes para remitir y recibir los datos (Castro, 2018).

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN Y CASO DE ESTUDIO

REGISTRO DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE LA IRRADIANCIA SOLAR MEDIANTE EL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR EXAMINADOS EN SITUACIONES GEOGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS EN PUNO

La geografía física es la ciencia que se encarga del estudio del medio físico y las relaciones e interacciones que se forman entre los diferentes componentes de este, tales como el aire, agua, tierra, viento, entre otros. En ese sentido, presenta una clasificación interna, por lo que se divide en subcampos, los cuales son, principalmente, la geomorfología, la climatología, la hidrografía y la edafología.

La climatología es la subrama de la geografía física que se aboca al estudio del clima, definido este como el promedio estadístico de las condiciones atmosféricas en un periodo extenso. Esta ciencia se diferencia de la meteorología, debido a que esta última estudia el tiempo atmosférico, elemento que resulta de la confluencia de una serie de elementos meteorológicos en

un momento específico, por lo que, en comparación del clima, varía de manera más inmediata.

Como parte del estudio del clima, se resalta el tratado de la irradiancia solar, fenómeno natural producido por la energía que emana del sol; al respecto, en la actualidad existe una preocupación latente por el incremento de los niveles de irradiación, hecho climatológico que repercute en las condiciones de vida de los seres humanos, la fauna y la flora.

En relación con lo expuesto, a continuación, se muestra el marco metodológico, el análisis y los resultados de una investigación, en la que se tiene por objetivo, en primer lugar, la construcción de una plataforma sensorial que permite medir los niveles de irradiancia solar en la región de Puno y, en segundo lugar, aplicar este instrumento y describir las condiciones atmosféricas del clima en dicha región.

4.1. Objetivos de la investigación

4.1.1. Objetivo general

Desarrollar una plataforma sensorial para medir y monitorear los eventos extremos de irradiación solar basado en IOT y con autonomía energética en Puno y Juliaca.

4.1.2. Objetivos específicos

- Implementar una plataforma de comunicación en tiempo real y almacenamiento de datos para el monitoreo in situ de eventos extremos de irradiación solar.
- Establecer e identificar los eventos extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$) y muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$) de irradiación solar en Puno y Juliaca.

- Analizar las condiciones geográficas y climatológicas en las que se producen los eventos extremos de irradiancia solar según los datos registrados de Puno y Juliaca.

4.2. Hipótesis de la investigación

4.2.1. Hipótesis general

La plataforma sensorial basada en IOT y con autonomía energética permite la medición y monitoreo in situ de los eventos de irradiancia solar extrema ($> 1000 \text{ W/m}^2$) o muy extrema ($> 1367 \text{ W/m}^2$) en Puno y Juliaca.

4.2.2. Hipótesis específicas

- El microcontrolador ESP8266 y sensores son adecuados para la comunicación y almacenaje de datos en el monitoreo in situ de eventos extremos de irradiancia solar.
- El módulo fotovoltaico calibrado permite la medición e identificación de eventos extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$) y muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$) de irradiancia solar en Puno y Juliaca.
- Los parámetros geográficos y climatológicos influyen en la medición y el monitoreo *in situ* de los eventos extremos de irradiancia solar en Puno y Juliaca.

4.3. Características de la investigación

4.3.1. Enfoque de la investigación

El estudio es de enfoque cuantitativo.

4.3.2. Nivel de la investigación

Según los objetivos del estudio (implementar, identificar, analizar), se efectuó una investigación del nivel exploratorio y descriptivo, debido a

que no se presentan estudios previos, información o antecedentes. Además, se busca describir la situación y las condiciones en las que ocurren los eventos extremos de irradiancia solar en la región altiplánica peruana.

4.3.3. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo tecnológico y aplicativo, el cual se asocia, generalmente, con las ciencias de la ingeniería.

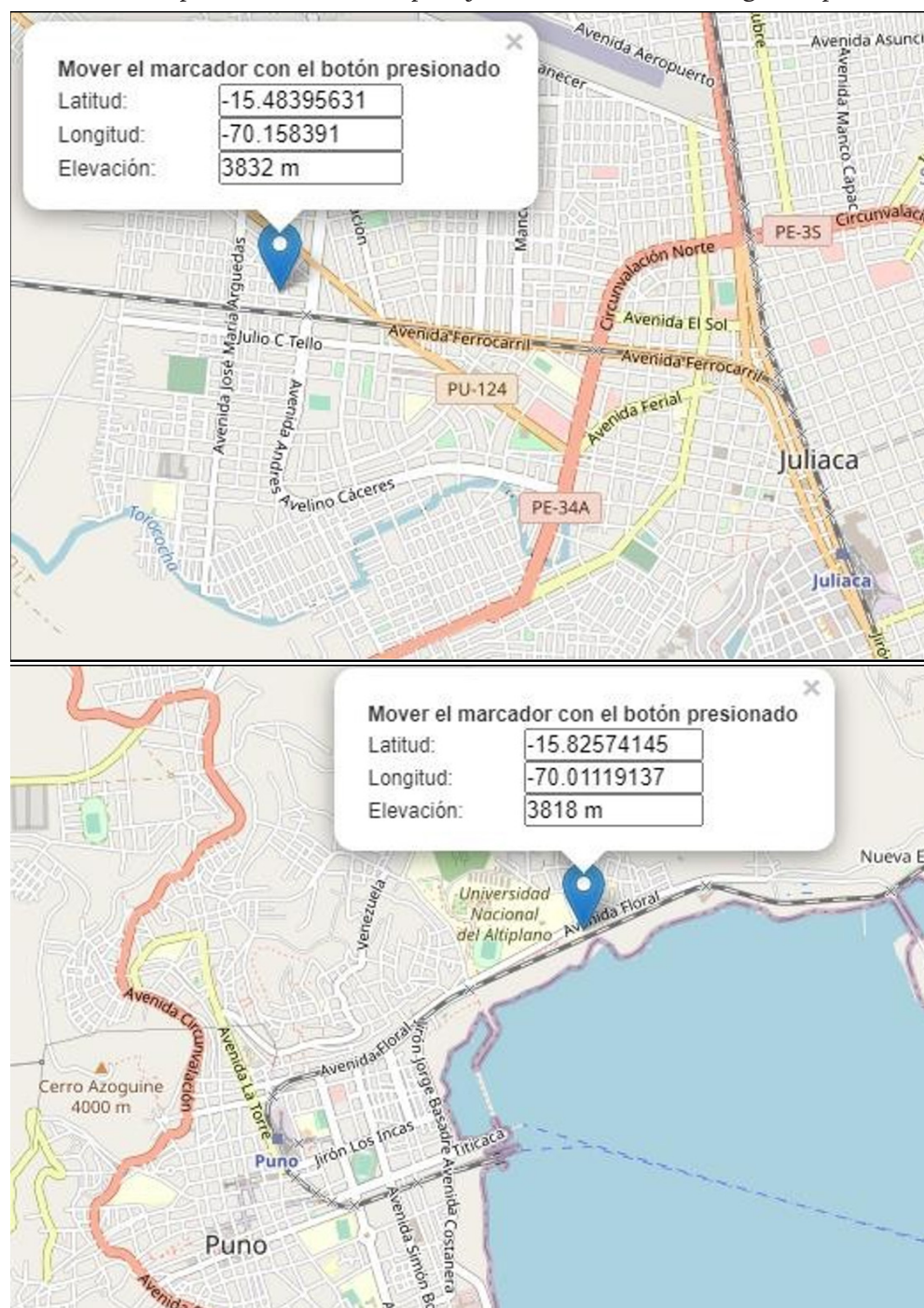
4.3.4. Diseño de investigación

Presenta el diseño no experimental, debido a que la finalidad de la tesis es desarrollar e implementar una plataforma de medición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar. Además, en este estudio, no se intenta manipular las variables para estudiar las consecuencias del fenómeno. En ese sentido, el análisis consiste en estudiar y observar las variables en su contexto natural.

4.3.5. Lugar de estudio

La plataforma del estudio se implementó en las ciudades de Puno y Juliaca, ubicadas en la región de Puno (Perú), a más de 3800 m s. n. m. Por un lado, Puno se sitúa geográficamente en 15° 50' de latitud sur y 70° 1' de longitud oeste; por otro lado, Juliaca se ubica a 15° 30' de latitud sur y 70° 8' de longitud oeste.

Posteriormente al diseño y desarrollo del software y hardware del instrumento, se procedió a ubicarlo en una posición específica, de acuerdo a una serie de condiciones, tales como que este libre de sombras, orientado hacia el norte (gracias al uso del clinómetro *Sunnto*). En ese sentido, las plataformas sensoriales se dispusieron en los domicilios, uno en Juliaca y otro en Puno. En la Figura 12, se muestra la localización de cada una de las plataformas.

Figura 12*Ubicación e implementación de las plataformas sensoriales (Google Maps)*

4.4. Técnicas e instrumentos

4.6.1. Técnicas de recolección de datos

El estudio se efectuó en las ciudades de Puno y Juliaca, en específico, en las viviendas ubicadas en esas zonas, lugar en el que se recolectó la data para, posteriormente, ser comparada. En cuanto al enfoque cuantitativo, la recolección de la data consistió en la medición de las variables de estudio, proceso en el cual se buscó medir para luego comparar y asociar esta con los fenómenos de irradiancia solar.

4.6.2. Técnica de procesamiento de los datos

Para el procesamiento de la data, se empleó el programa *Microsoft Excel*. La técnica que se usó fue la estadística descriptiva, la cual es un conjunto de procedimientos que tienen por fin presentar datos en tablas o gráficos.

4.6.3. Instrumentos

El instrumento diseñado para la medición de los eventos de irradiancia solar fue la plataforma sensorial, la cual se creó con base en las normas estándar IEEE 802.11, las cuales se rigen en las redes de comunicación.

4.5. Materiales

En la presente investigación, se emplearon los siguientes materiales o equipos:

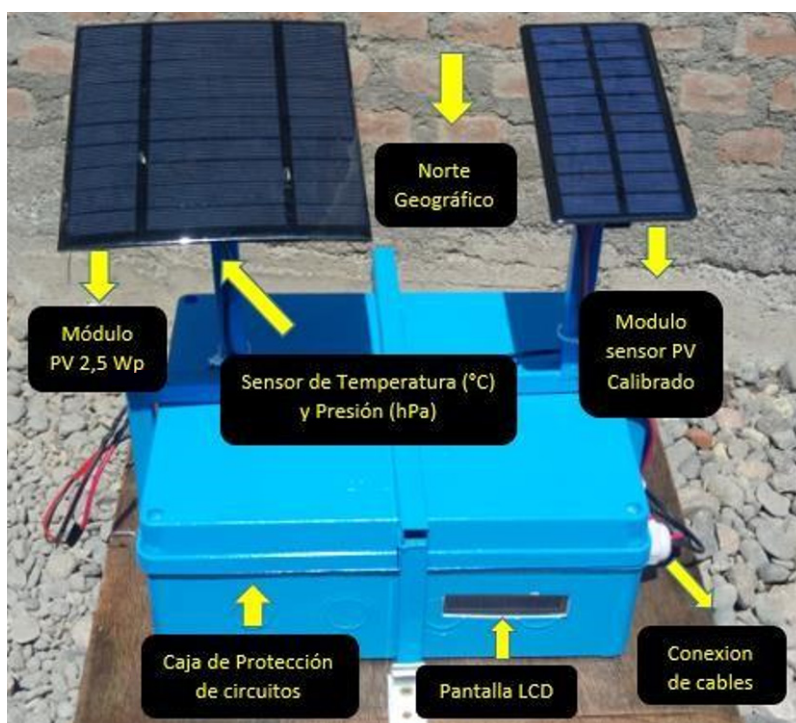
- El NodeMCUESP8266
- Mini módulos fotovoltaicos
- Sensor de voltaje y corriente INA219
- Sensor de presión y temperatura
- Módulo de reloj de tiempo real RCTDS3231

- Módulo de tarjeta SD Card/Micro SD Card
- Pantalla LCD 16x2
- Módulo cargador de batería de litio TP4056
- Baterías ion litio
- Multímetro FLUKE 179
- Clinómetro y brújula Suunto Tandem 360pc/360r
- Módulo fotovoltaico calibrado (Patrón)

4.5.1. Estructura de la plataforma sensorial

Figura 13

Plataforma de medición de eventos extremos de irradiancia solar



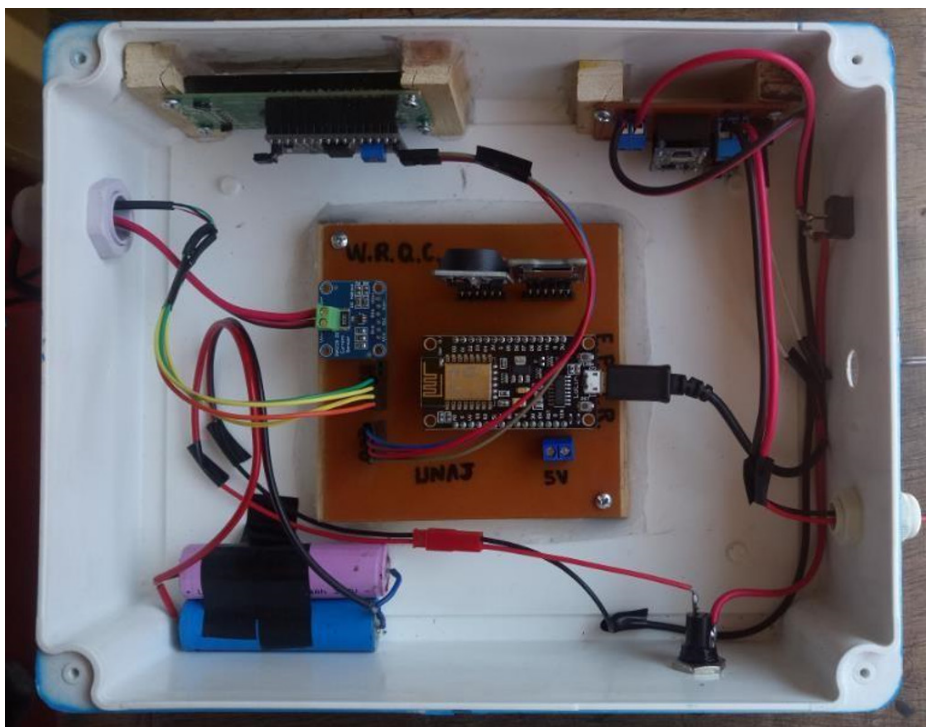
Nota: Plataforma sensorial de medición de eventos extremos de irradiancia solar implementados en Puno y Juliaca.

En cuanto al hardware, la plataforma está conformada por tres sensores de medición, los cuales monitorean tres parámetros ambientales: la irradiancia solar, la temperatura del aire y la presión atmosférica. En la Figura 13, se muestra la estructura de la plataforma sensorial.

En la Figura 14, se presenta el diseño físico interno de la plataforma sensorial, todos estos componentes se disponen dentro de una caja de protección.

Figura 14

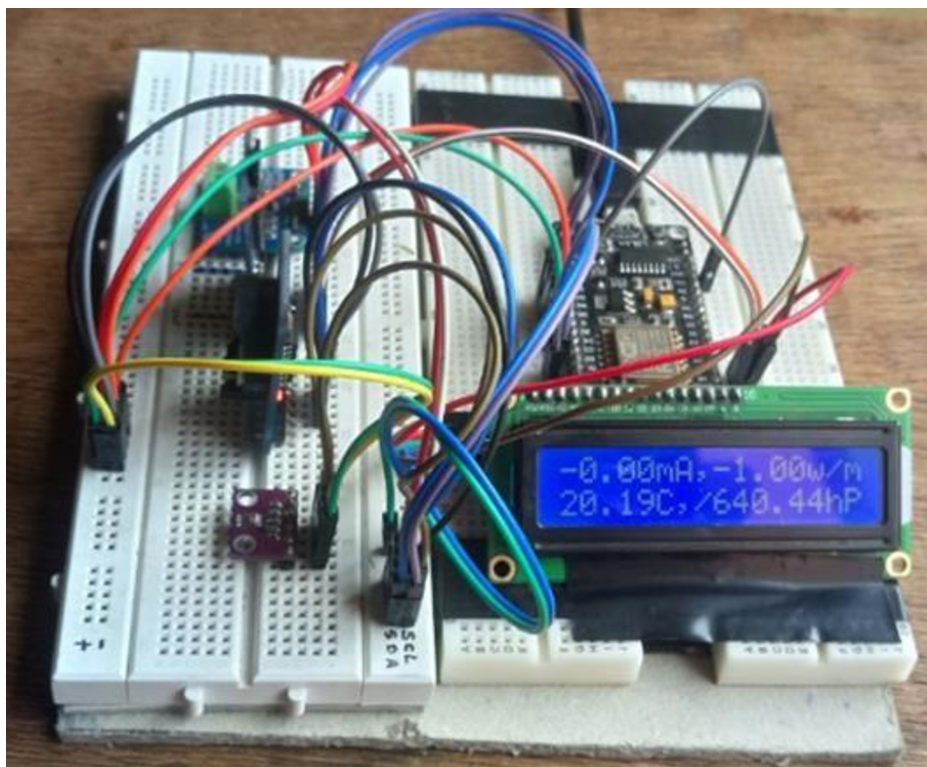
Diseño del hardware de la plataforma sensorial



De manera específica, se comprobó las conexiones del sistema en un *proto-board*. Para el sistema eléctrico y electrónico, se empleó el microcontrolador Node MCU ESP8266, el cual se encarga de la ejecución de la programación de estos componentes. En la Figura 15, se muestra el circuito de prueba.

Figura 15

Circuitos de prueba en el protoboard



En cuanto al diseño de las placas, se usaron los programas de diseño Eagle y Fritzing, con los cuales se elaboraron dos unidades de placas de circuito impreso (PCB): uno para el sistema de alimentación y otro para el sistema que integra la comunicación, el almacenamiento, medición y monitoreo de la data recolectada. Se muestra las placas para cada uno de estos componentes, en las Figuras 16 y 17, respectivamente.

En la Figura 18, se muestra el diagrama general del sistema electrónico de la plataforma sensorial, representación gráfica que se elaboró en el software *Fritzing*. Tal como se observa, el microcontrolador NodeMCU ESP8266 se conecta con los distintos elementos, entre ellos, el sensor INA219, el sensor BMP280, el reloj RCT DS3221, la fuente de alimentación, el banco de baterías, entre otros.

Figura 16

PCB de alimentación de la plataforma sensorial

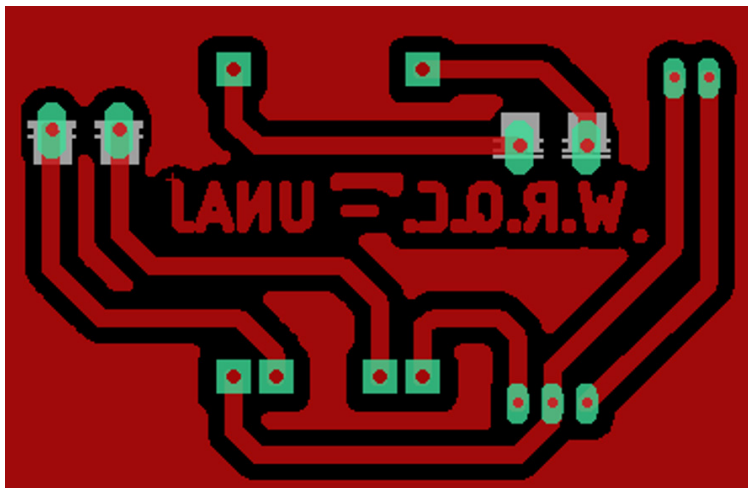


Figura 17

PCB de medición, almacenamiento, comunicación de datos de la plataforma sensorial

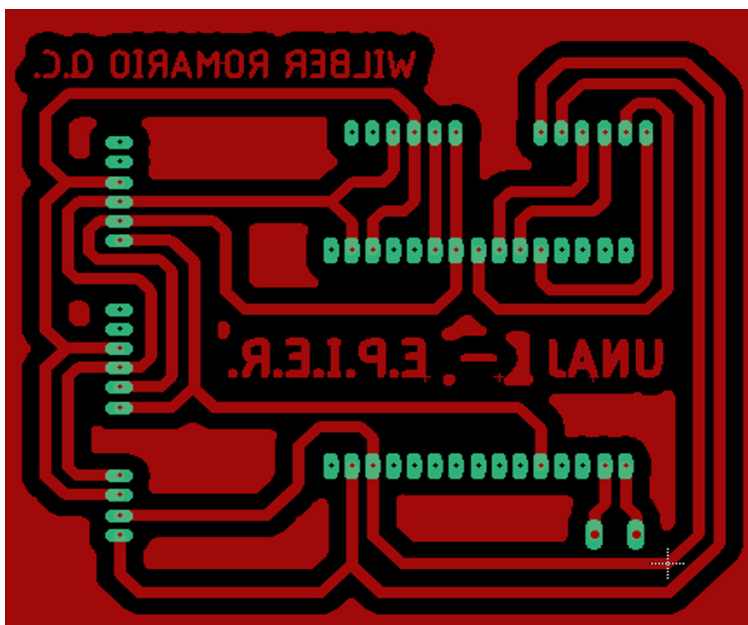
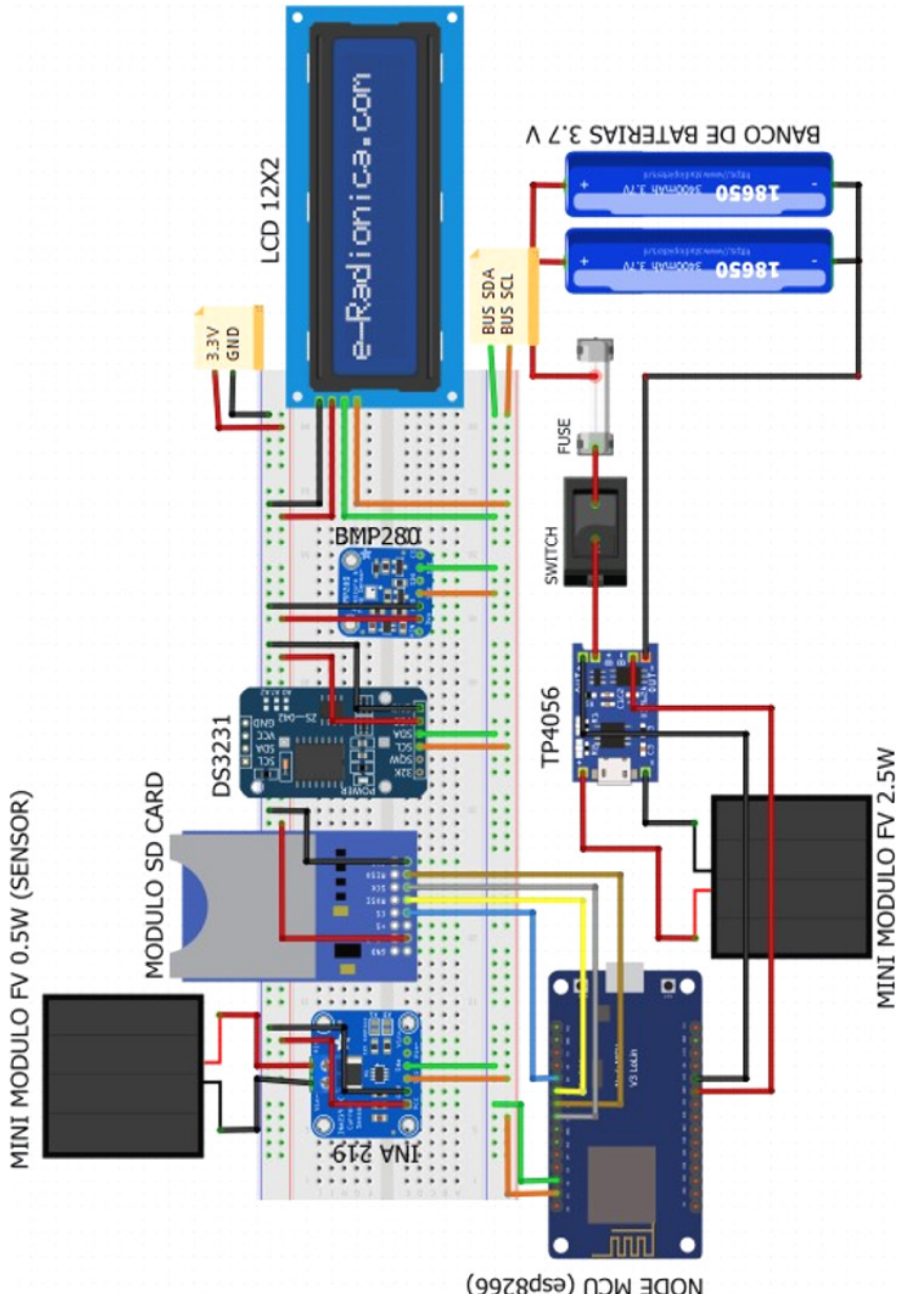


Figura 18

Diagrama de conexión de la plataforma sensorial



4.6. Resultados

A continuación, se presenta la data registrada por la plataforma sensorial acerca de los niveles de irradiancia solar, en la ciudad de Puno y Juliaca (Perú), durante un período de seis meses.

4.6.1. Recolección de datos de eventos extremos de Irradiación solar registrados en Puno y Juliaca

El análisis estadístico abarcó todos los eventos de irradiación, ya sean extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$) o muy extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$), según la clasificación.

Tabla 7

Ocurrencias de eventos muy extremos de Irradiancia ($> 1367 \text{ W/m}^2$) en Juliaca

Meses	Irradiancia máxima muy extrema		Duración		
	(W/m^2)	N° de días	máxima (seg.)	mensual total (minutos)	% de frecuencia
Enero	1460.86	5	6	6	0.25 %
Febrero	1513.88	8	9	12	0.31 %
Marzo	1567.87	11	13	24	0.39 %
Abril	1460.88	4	2	3	0.05 %
Junio	1389.34	1	2	–	0.00 %
Julio	–	–	–	–	0.00 %

Tabla 8
Ocurrencias de eventos de Irradiancia (> 1000 W/m²) en Juliaca

Meses	Irradiancia máxima extrema		Duración	
	(W/m ²)	N° de días	máxima (seg.)	% de frecuencia
Enero	1366.78	14	17	16.92 %
Febrero	1354.89	12	34	9.37 %
Marzo	1354.89	18	11	13.16 %
Abril	1354.89	26	30	17.01 %
Junio	1338.47	1	9	0.76 %
Julio	1338.47	4	2	0.92 %

Tabla 9
Ocurrencias de eventos muy extremos de Irradiancia (> 1367 W/m²) en Puno

Meses	Irradiancia máxima muy extrema		Duración		
	(W/m ²)	N° de días	máxima (seg.)	mensual total (minutos)	% de frecuencia
Enero	1407.89	2	29	2	0.04 %
Febrero	1407.89	3	27	3	0.03 %
Marzo	–	–	–	–	0.00 %
Julio	–	–	–	–	0.00 %
Agosto	–	–	–	–	0.00 %
Septiembre	–	–	–	–	0.00 %

Tabla 10

Ocurrencias de eventos de Irradiancia ($> 1000 \text{ W/m}^2$) en Juliaca

Meses	Irradiancia máxima extrema		Duración	
	(W/m^2)	Nº de días	máxima (seg.)	% de frecuencia
Enero	1248.90	7	39	2.35 %
Febrero	1354.89	19	34	3.98 %
Marzo	1354.89	18	11	1.13 %
Julio	–	–	–	0.00 %
Agosto	1025.78	2	9	0.01 %
Septiembre	1267.44	8	2	0.58 %

En las Tablas 7, 8, 9 y 10, se observa un resumen de los parámetros estadísticos que se relacionan con los eventos extremos y muy extremos de irradiancia solar que se presentaron en Juliaca y Puno, durante la etapa de medición y ejecución de la investigación (enero a julio del 2020). Asimismo, se muestra la ocurrencia de la irradiancia solar, ya sea en niveles extremos o muy extremos, documentados en cada mes, los cuales se clasifican por el valor más alto que registran, el número de días, así como la duración de horas.

De acuerdo a la data registrada, se observa que los eventos de mayor irradiación se relacionan con los eventos de mayor nubosidad, aquello permite corroborar que la irradiación extrema se presenta cuando existe un incremento de nubosidad. En el caso específico de Puno y Juliaca, el aumento de los niveles de nubes inicia en septiembre y finaliza, aproximadamente, en abril, de acuerdo con lo registrado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En cuanto a los eventos extremos de irradiancia solar, se producen por el efecto específico de un tipo de nubes, también denominado como el fenómeno de la mejora de nubes. La irradiación, en estos casos, se produce cuando se presenta el nivel es superior al estándar (1000 W/m^2) y, en casos puntuales, por encima de la constante solar (1367 W/m^2), también denominada irradiancia extraterrestre.

4.6.2. Análisis estadístico de los datos registrados de eventos extremos de irradiancia solar en Puno y Juliaca

En este primer apartado, se presentan los resultados de la ciudad de Puno y Juliaca, para tal fin, se considera como referente de medición el día más representativo de cada mes para cada ciudad. Asimismo, para una mayor precisión del registro de los datos, se empleó las tablas de frecuencia estadística del programa Excel, para así obtener la frecuencia de la data registrada en sus niveles extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$) y muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$).

Mediciones registradas por la plataforma sensorial de eventos extremos de irradiancia solar implementando en la ciudad de Juliaca

En las Figuras 19 y 20, se presentan los eventos de irradiancia solar, ya sean extremos o muy extremos, del mes de enero, cuyo día representativo fue el 16. Al respecto, se determinó que el evento de mayor irradiación alcanzó un nivel muy extremo (1460.86 W/m^2) a las 11:08:21 h, cuya frecuencia fue de 6 veces y presentó una duración de 6s. Para el rango de $1350 \text{ W/m}^2 - 1460.86 \text{ W/m}^2$, se repitió unas 58 veces, asimismo alcanzó una insolación de 2.28 horas pico. Además, en ese mismo día, la temperatura dentro de la cabina de medición fue de 25.87°C , con una presión atmosférica de 647.10 hPa . A manera de resumen, se identificó que en este día se registraron los eventos de irradiación solar muy extrema ($>1367 \text{ W/m}^2$), los cuales representan el 0.3 % del total de las mediciones efectuadas.

Figura 19

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 16/01/2020-Juliaca

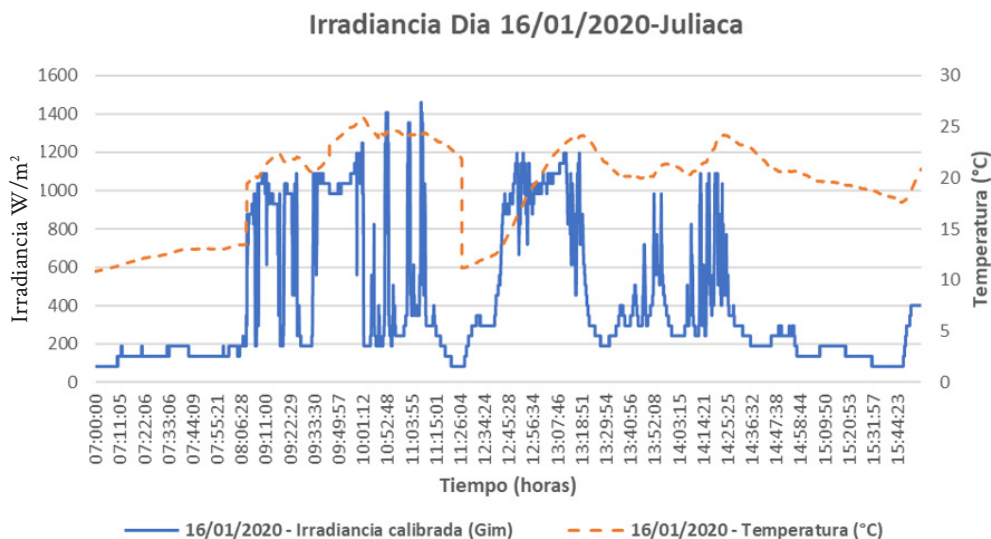


Figura 20

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 16/01/2020-Juliaca

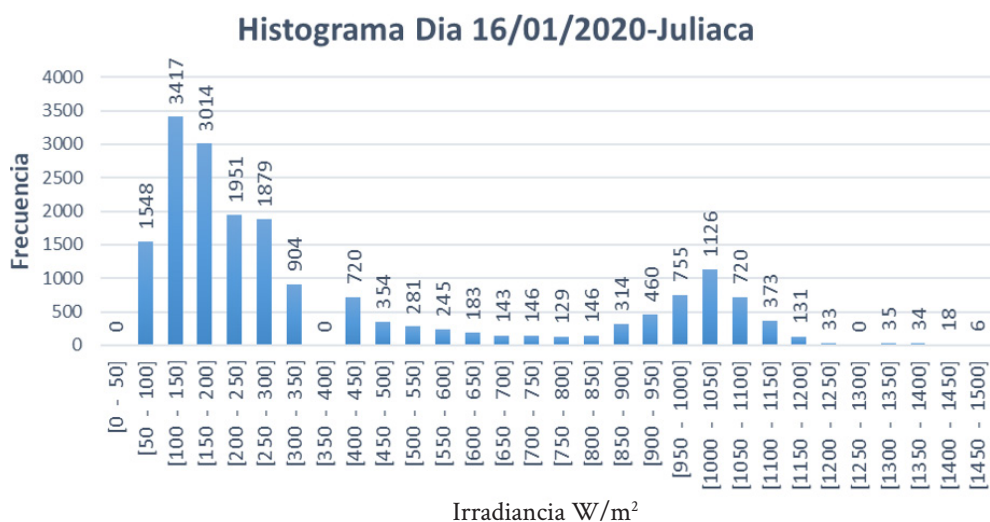


Figura 21

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 17/02/2020-Juliaca

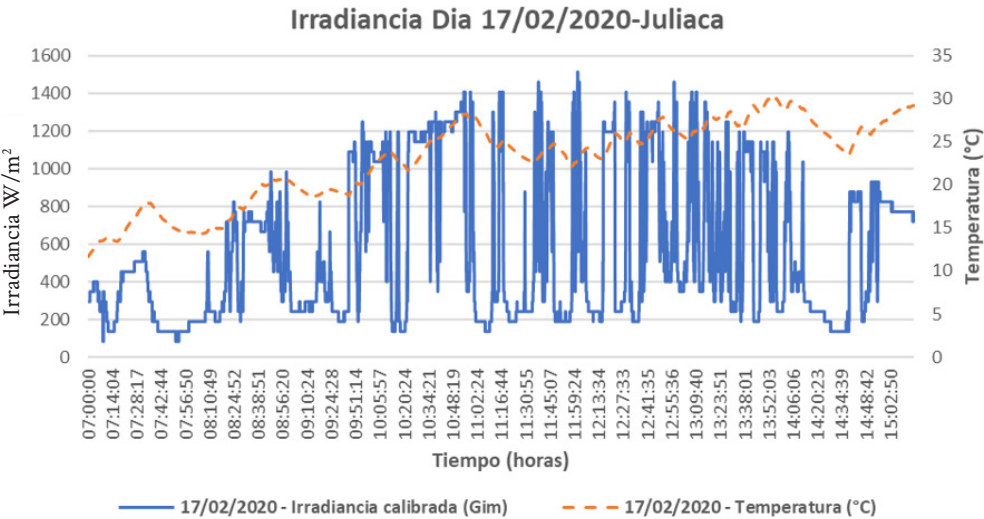
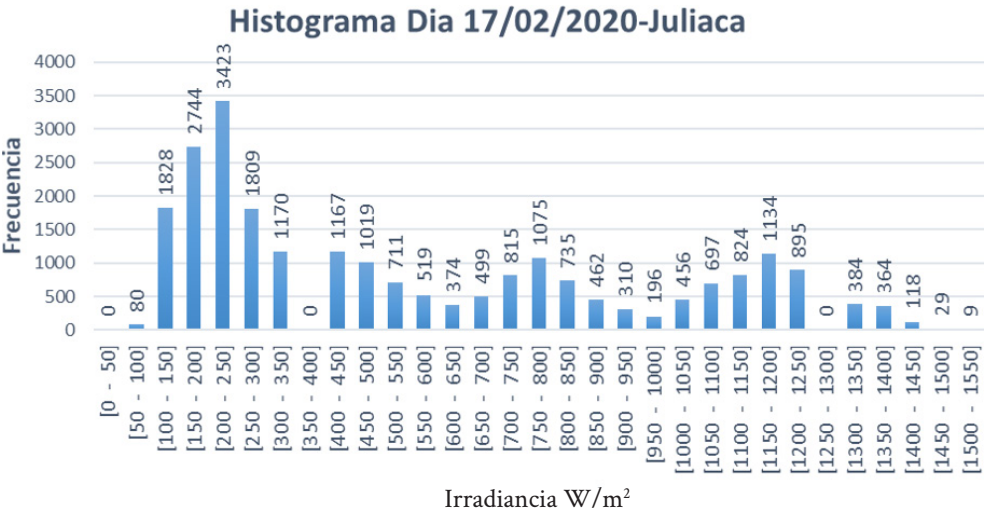


Figura 22

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 17/02/2020-Juliaca



En las Figuras 21 y 22, se observa la medición del mes de febrero, el día escogido como representativo fue el 17. En dicho día, se presentaron eventos de irradiación muy extremos, en específico, se obtuvo un nivel de 1513.88 W/m^2 a las 12:01:19 h, cuya frecuencia fue de 9 veces y mantuvo una duración de 9s, como máximo, y 1s, como mínimo. Para el rango de 1350 W/m^2 - 1513.88 W/m^2 , se repitió un total de 520 veces; por otro lado, en cuanto a la temperatura, se registró dentro de la cabina de medición 23.02°C y un grado de insolación de 3.86 HSP. En resumen, en este día, se registró, también, eventos de irradiación muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$), los cuales representaron el 2.18 % del total de mediciones.

Figura 23

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 04/03/2020-Juliaca

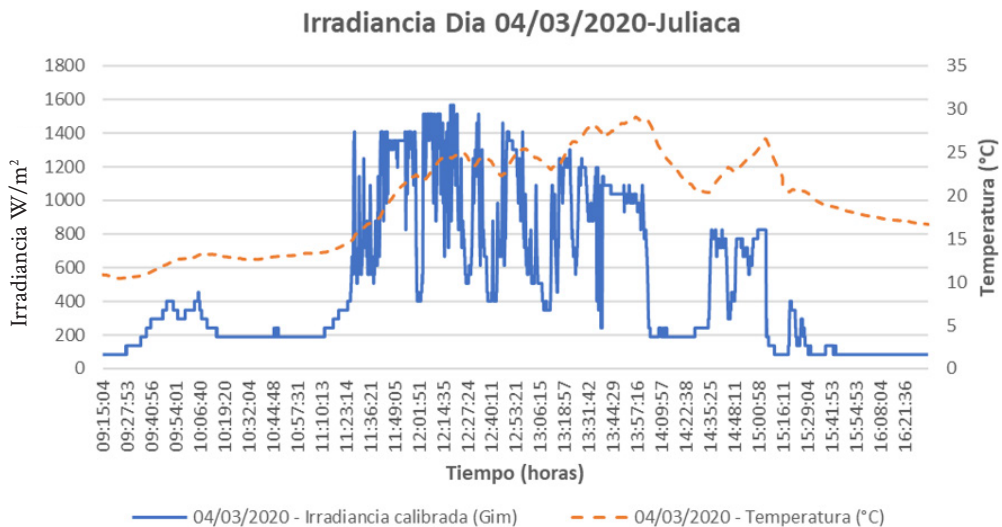
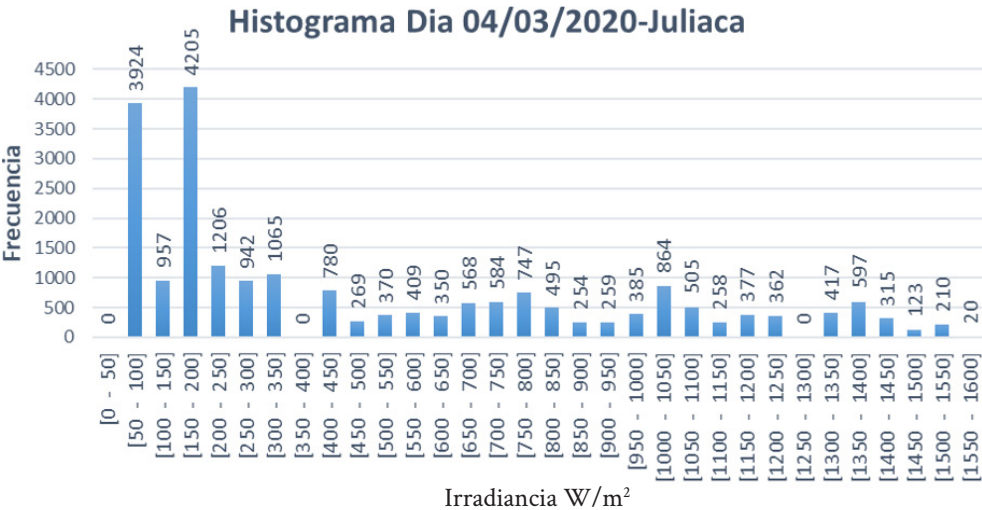


Figura 24

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 04/03/2020-Juliaca



En las Figuras 23 y 24, se muestra la frecuencia de irradiación y el histograma de marzo, al respecto el día representativo elegido fue el 4. En dicha fecha, se presentó un nivel de irradiación muy extremo ($1566.78 \text{ W}/\text{m}^2$) a las 12:19:26 h, con una repetición de 20 veces y una duración de 43 s, como máximo y, como mínimo, de 1 s; además, se presentó una temperatura de aire de 26.67°C . Este constituye el primer registro de irradiancia muy extrema captado por la plataforma sensorial a una latitud sensorial (-15.48805°S) y una altitud de 3832 m s. n. m. y, a su vez, es el mayor fenómeno de irradiancia muy extrema registrada en los seis meses de estudio. En cuanto al rango $[1400 \text{ W}/\text{m}^2 - 1567 \text{ W}/\text{m}^2]$, tiene una repetición de 688 veces, con una insolación de $3.13 \text{ kWh}/\text{m}^2$. En tal día, además, se registraron los eventos de irradiancia muy extrema ($>1367 \text{ W}/\text{m}^2$), los cuales constituyen el 5.79 % de las mediciones.

Figura 25

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 01/04/2020-Juliaca

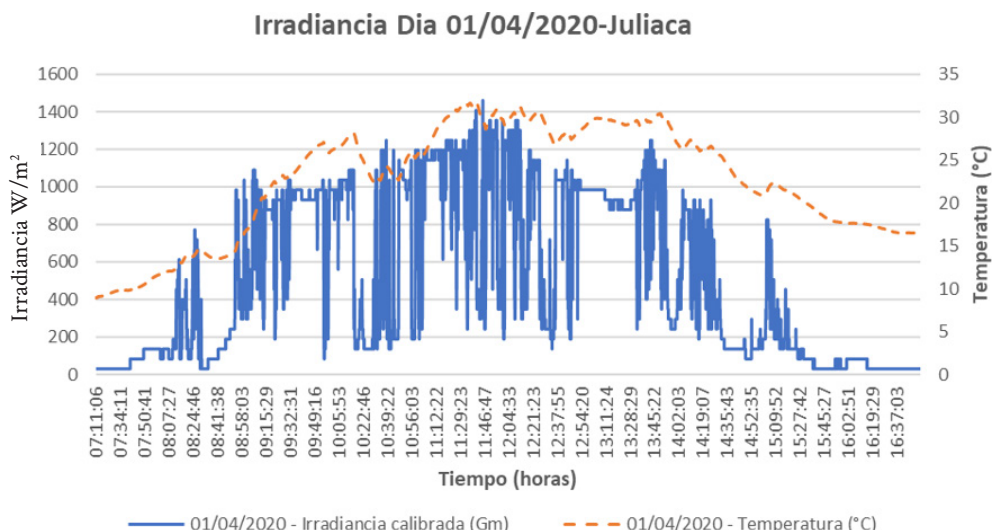
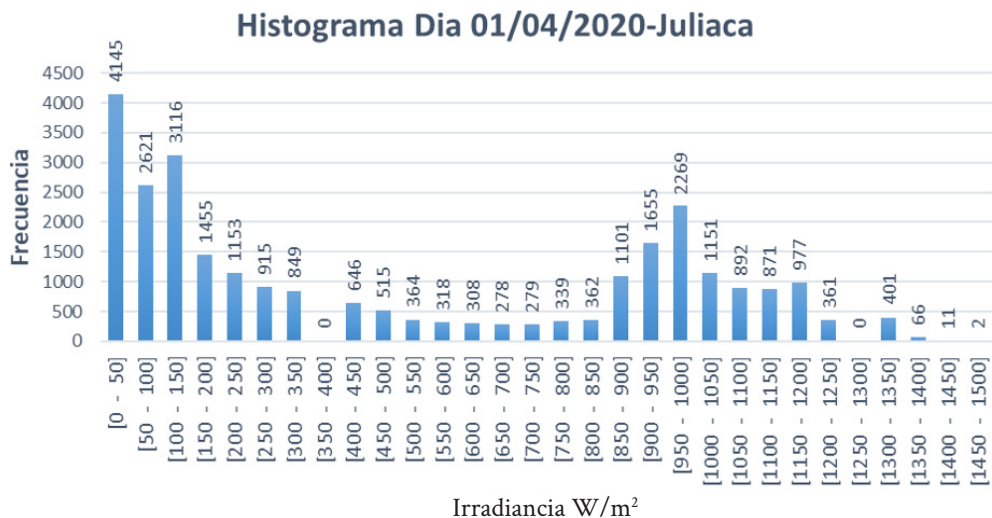


Figura 26

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 01/04/2020-Juliaca



En las Figuras 25 y 26, se expone el gráfico y el histograma de la partición de la frecuencia de irradiancia del 1 de abril del 2020; en tal día, se captó la mayor irradiancia de nivel muy extremo de todo el mes. Al respecto, este evento obtuvo un nivel de 1460.86 W/m² a las 11:45:39 h, con una temperatura del aire de 29.61 °C y una presión atmosférica de 647.21 hPa, con una duración de 2s. En cuanto al rango [1350 W/m²-1460.86 W/m²], se repitió 79 veces y obtuvo una insolación de 4.03 W/m². Además, en dicho día, se captó que el 16.97 % del total de mediciones fueron de nivel extremo (>1000 W/m²) y el 0.29 %, muy extremo (>1367 W/m²).

Figura 27
Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 06/06/2020-Juliaca

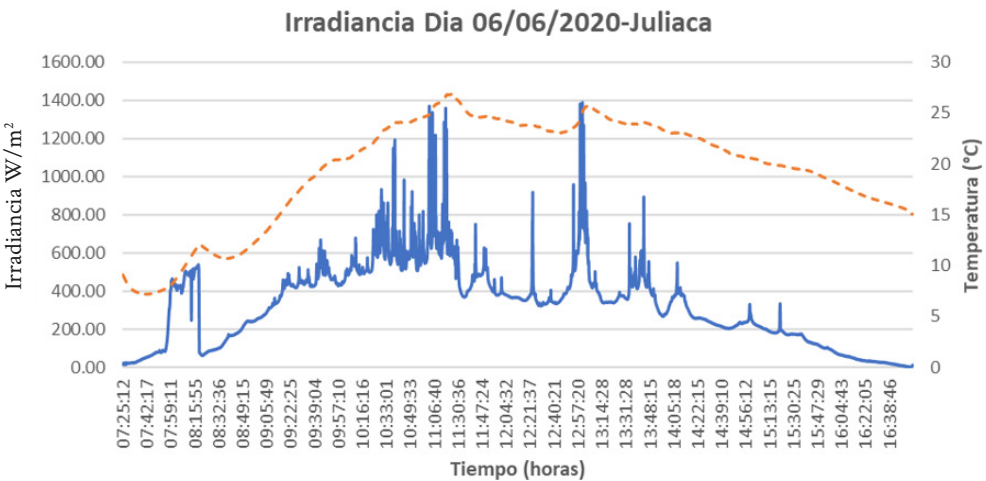
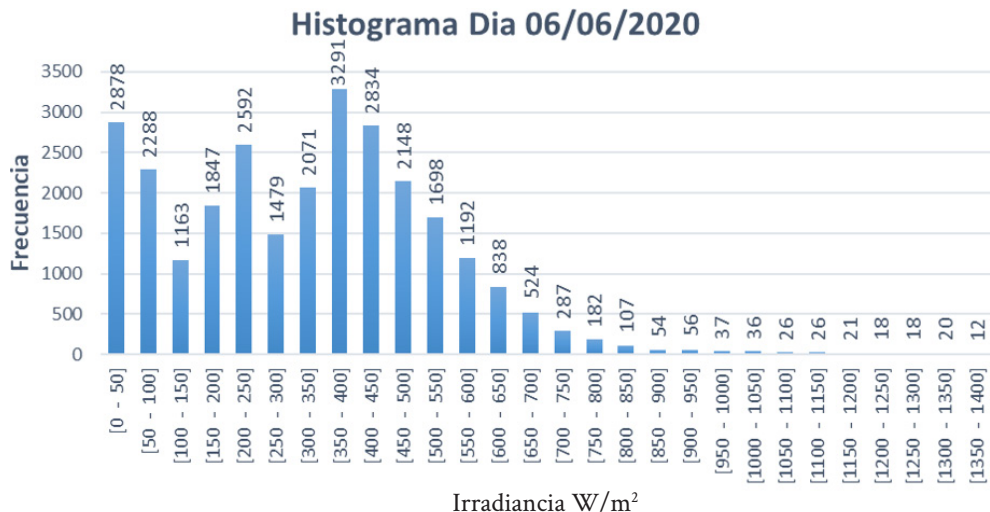


Figura 28

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 06/06/2020 -Juliaca



En las Figuras 27 y 28, se observan los resultados de la medición de junio, cuyo día representativo fue el 6. El evento de irradiancia muy extrema obtuvo un nivel de 1389.34 W/m^2 a las 13:00:55 h, con una frecuencia de 3 veces y una duración de 2 s, como máximo. Para el rango $[1367 \text{ W/m}^2 - 1389 \text{ W/m}^2]$, se repitió 5 veces, además, dentro de la cabina de medición se alcanzó una temperatura de 25.12°C , una presión atmosférica de 646.65 hPa y una insolación de 2.71 W/m^2 . Además, en dicho día, se captó que el 0.04 % del total de mediciones fueron de nivel muy extremo ($>1367 \text{ W/m}^2$) y el 2.33 %, de nivel extremo ($> 1000 \text{ W/m}^2$).

Figura 29

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 25/07/2020-Juliaca

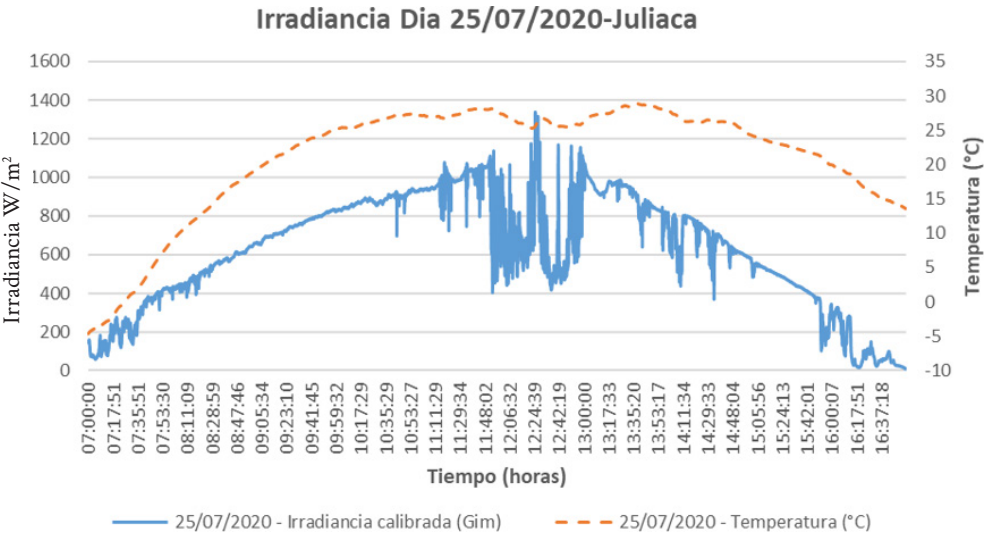
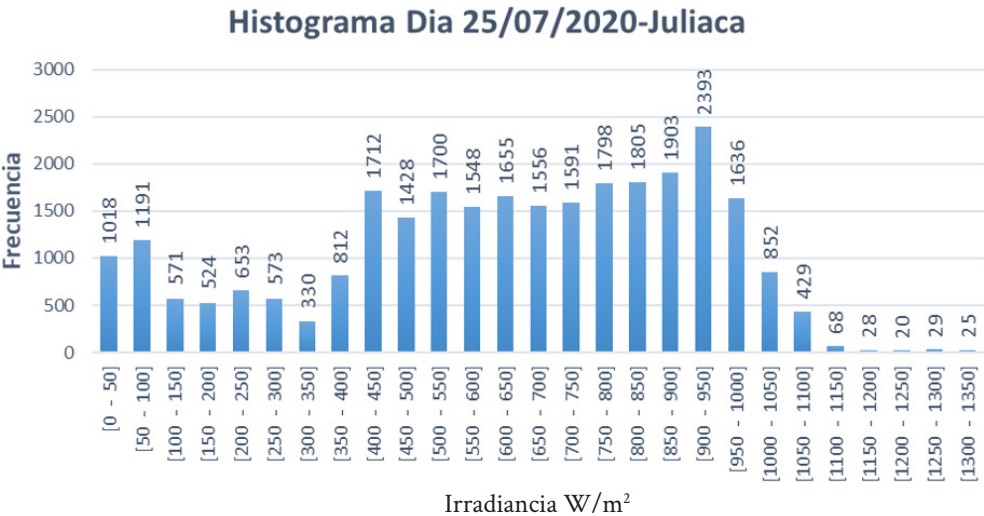


Figura 30

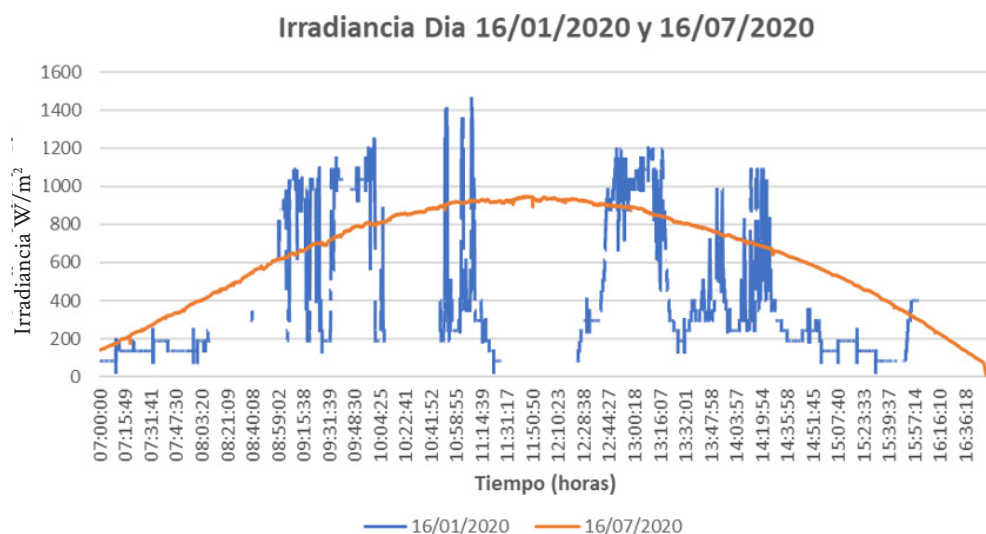
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 25/07/2020-Juliaca



En las Figuras 29 y 30, se muestra que no se registraron eventos de irradiancia muy extrema ($> 1367 \text{ W/m}^2$); no obstante, sí se captaron eventos de irradiancia extrema ($> 1000 \text{ W/m}^2$). Al respecto, en julio, el día representativo fue el 25; en dicha fecha, la irradiancia con mayor nivel fue de 1338.47 W/m^2 a las 12:25:18 h, con una frecuencia de 7 veces y una duración de 2s. Para el rango $[1000 \text{ W/m}^2 - 1338.47 \text{ W/m}^2]$, se repiten 1451 veces; asimismo, en tal día, se alcanzó una temperatura de aire dentro de la cabina de medición de 31.07°C y una insolación de 5 horas solar pico. En general, los eventos de irradiancia extrema ($> 1000 \text{ W/m}^2$) conformaron el 11.07 % del total de las mediciones.

Figura 31

Irradiancia entre días con y sin presencia de nubes en la ciudad de Juliaca



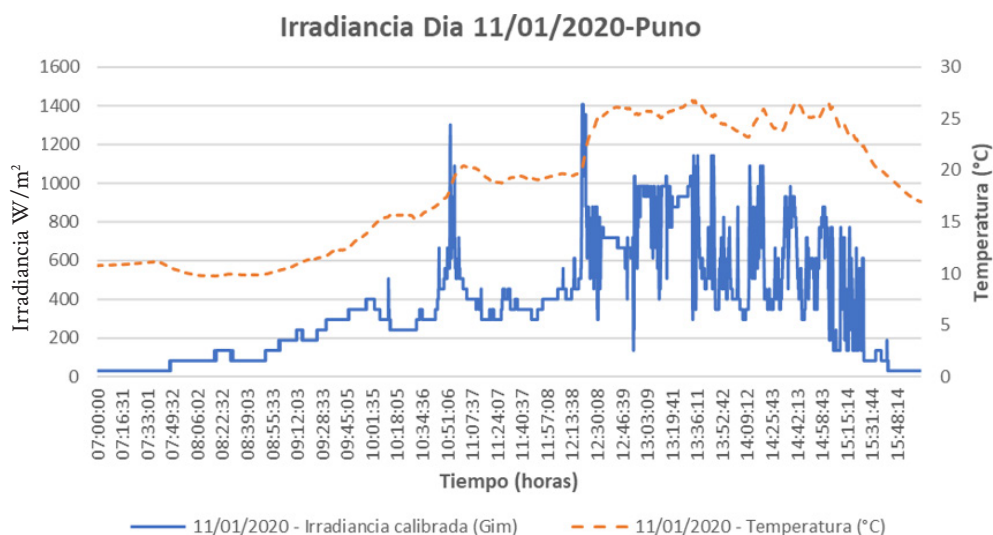
En la Figura 31, se nota la irradiancia captada en un día nublado y de cielo casi despejado. Al respecto, se muestra que, en un día con dichas características, no se producen saltos de amplificación de irradiancia solar; no obstante, en días de cielo nublado, se presenta el fenómeno conocido como la mejora de nubes, el cual es más que la ampliación de la irradiancia solar por sobre el nivel de irradiancia estándar, tanto en nivel extre-

mo ($> 1000 \text{ W/m}^2$) como muy extremo ($>1367 \text{ W/m}^2$), y es denominado como constante solar.

Mediciones registradas por la plataforma sensorial de eventos extremos de irradiancia solar implementando en la ciudad de Puno

Figura 32

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 11/01/2020 -Puno



En las Figuras 32 y 33, se captó el evento extremo de 1407.88 W/m^2 , el 11 de enero, a las 12:20:18 h, en Puno. Este fenómeno obtuvo una frecuencia de 37 veces y una duración de 29 s como máximo y 1 s como mínimo. En cuanto al rango [1350 W/m^2 - 1407.88 W/m^2], se repitió 91 veces; asimismo, en tal día, se registró una temperatura, dentro de la cabina de medición, de 26.77°C y una insolación de 3.43 W/m^2 . En general, los eventos de irradiancia muy extrema ($> 1367 \text{ W/m}^2$) conformaron el 0.29 % del total de mediciones.

Figura 33

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 11/01/2020 -Puno

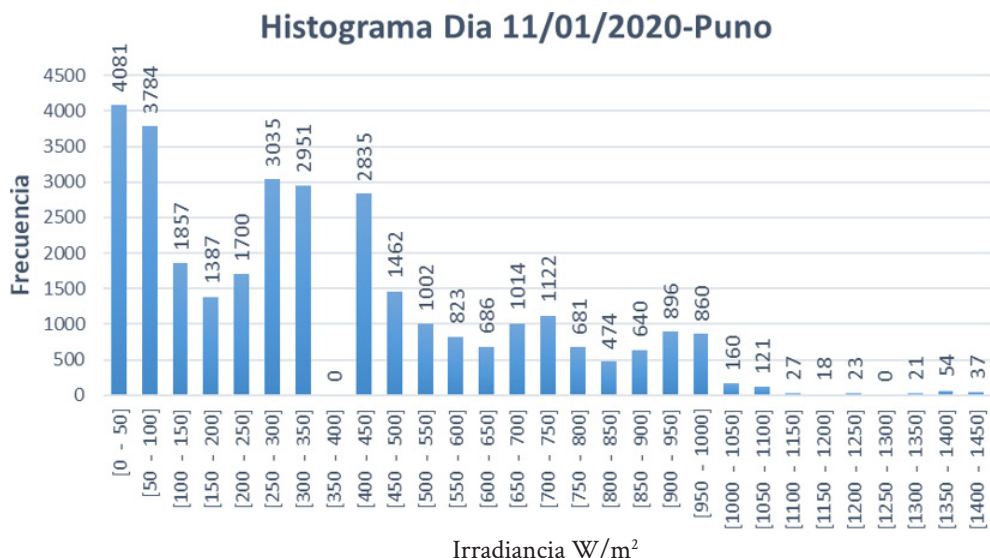


Figura 34

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 12/02/2020 -Puno

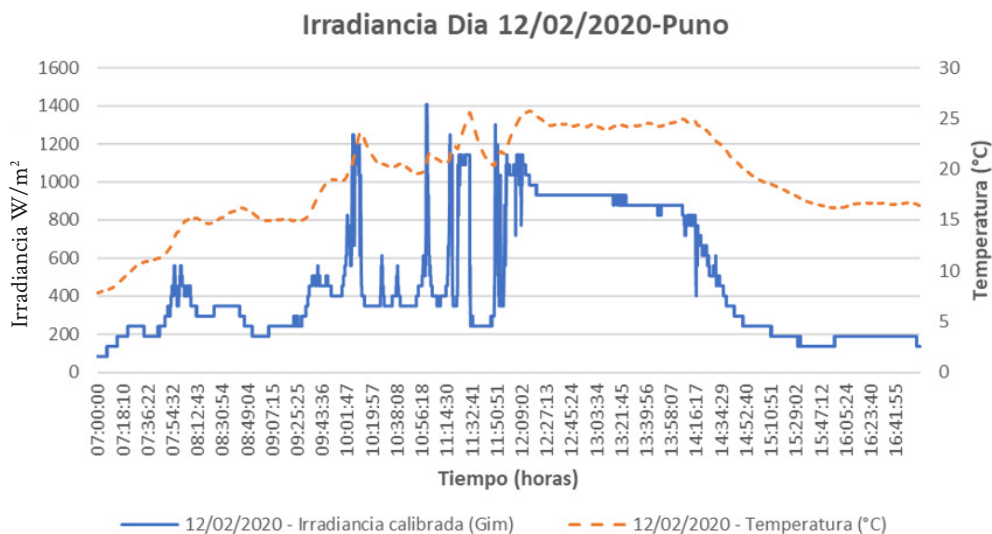


Figura 35

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 12/02/2020 -Puno



En las Figuras 34 y 35, en cuanto a febrero, el día representativo fue el 12, en dicha fecha, se captó el evento de irradiancia muy extrema ($1407.89 W/m^2$), a las 10:59:47 h, con una frecuencia de 30 veces y una duración de 47 s como máximo y 2 s como mínimo. En cuanto al rango [$1350 W/m^2$ - $1407.88 W/m^2$], se repitió 39 veces, se alcanzó una temperatura dentro de la cabina de medición de $25.76 ^\circ C$ y se registró una insolación de $4.65 W/m^2$. En general, en dicho día, se captó que los eventos de irradiancia muy extrema ($> 1367 W/m^2$) conformaron el 0.12 % del total.

Figura 36

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 13/03/2020-Puno

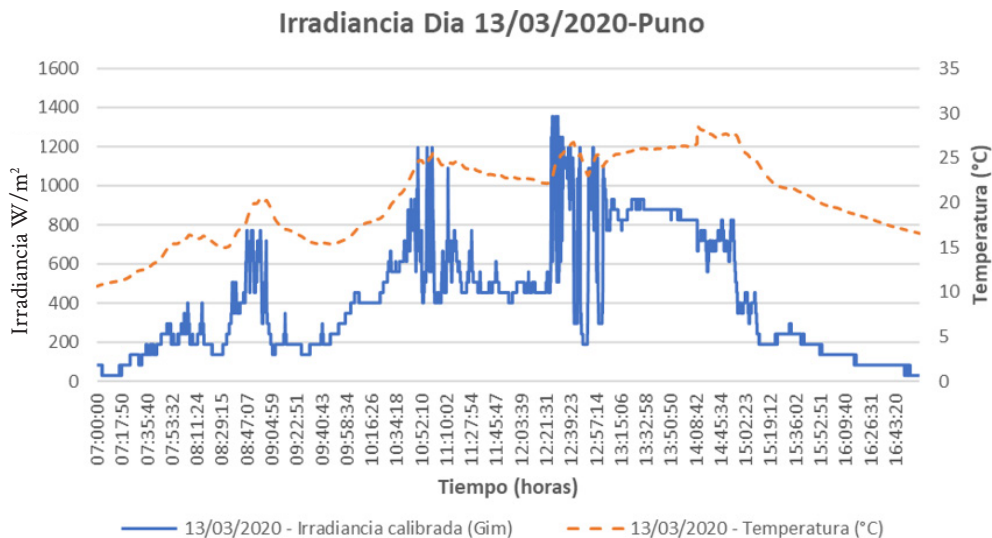


Figura 37

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 13/03/2020-Puno



Figura 38

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 24/07/2020-Puno

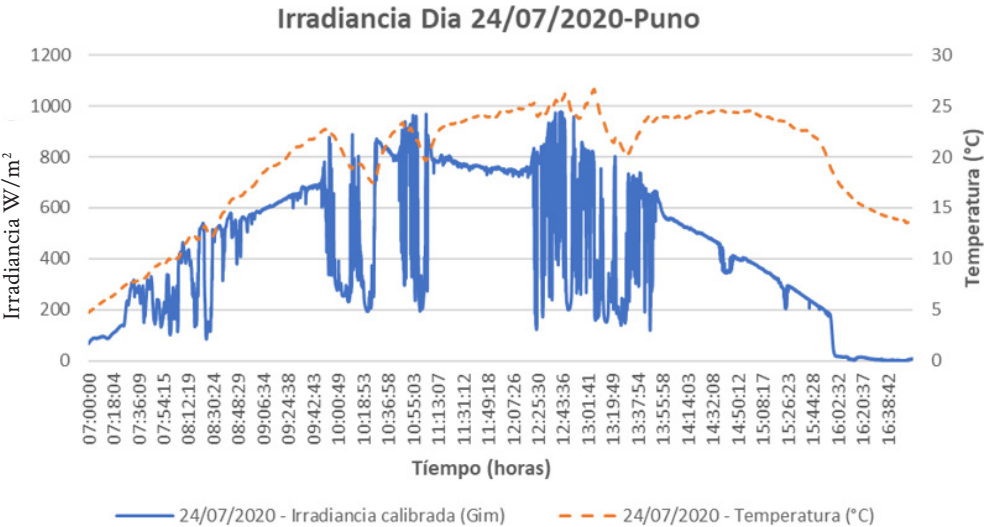


Figura 39

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 24/07/2020-Puno



Figura 40

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 11/08/2020-Puno

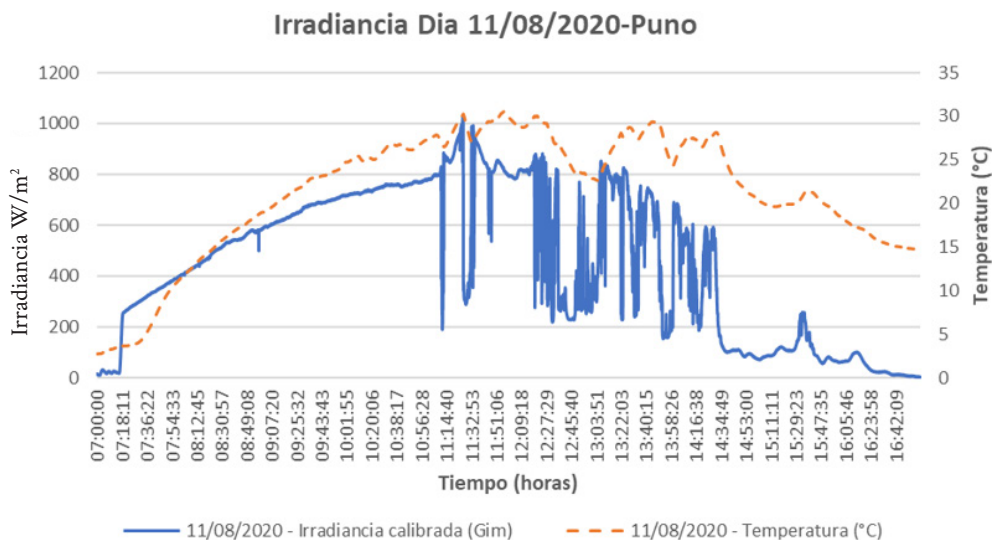


Figura 41

Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 11/08/2020-Puno



Figura 42

Ocurrencia de irradiancia muy extrema para el 15/09/2020 -Puno

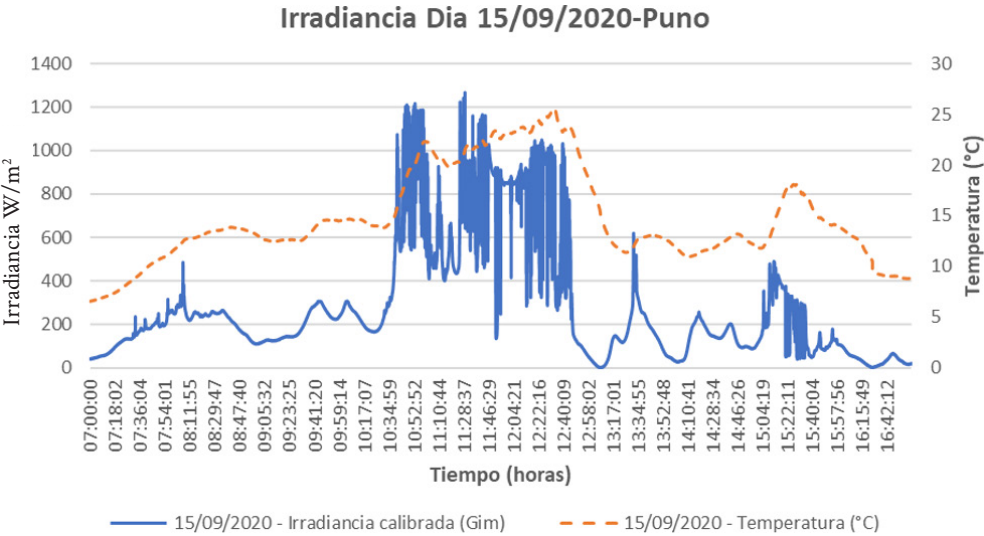
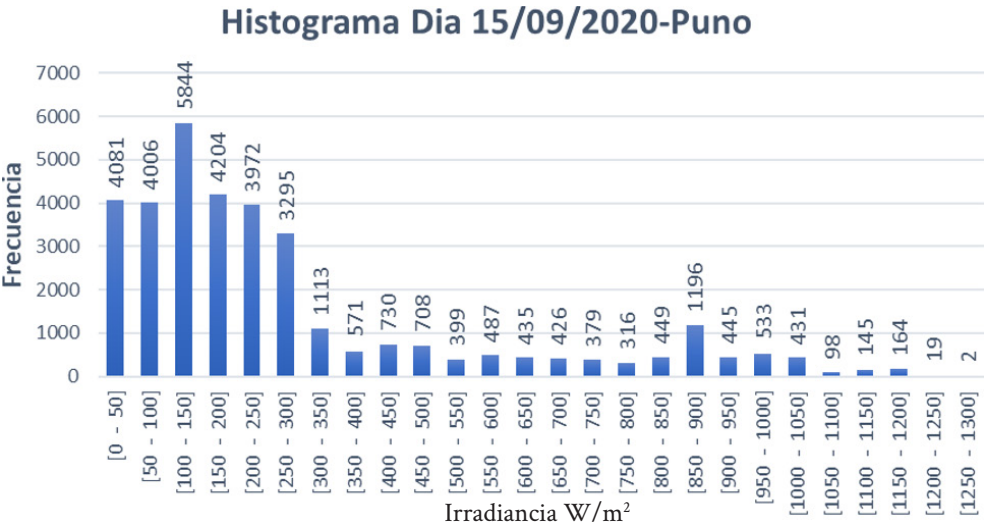


Figura 43

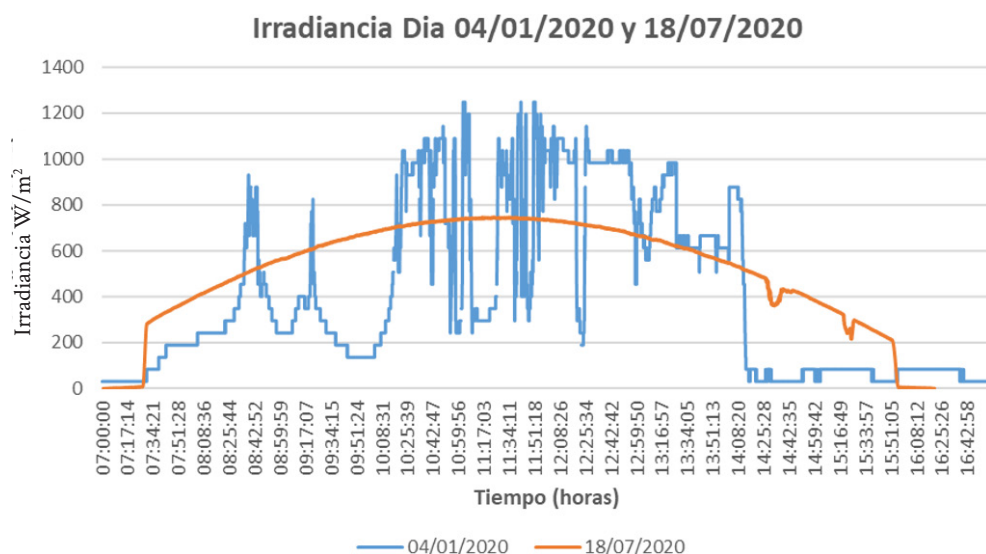
Histograma de frecuencia de irradiancia muy extrema para 15/09/2020 -Puno



En las Figuras 36 al 43, se presentan los resultados del periodo de medición marzo, julio, agosto y septiembre, meses en los que no se registró eventos de irradiancia muy extrema que sobrepasaran la constante solar (1367 W/m^2), pero sí se captó eventos de irradiancia extrema que superan el estándar ($> 1000 \text{ W/m}^2$), aproximadamente, entre $1075 \text{ W/m}^2 - 1375 \text{ W/m}^2$. De manera específica, para cada uno de estos meses, se presentó lo siguiente: el 13 de marzo se captó una irradiancia extrema (1354.89 W/m^2) a las 12:26:11 h, con una duración de 11 s y una insolación solar de 4:01 HSP; el 24 de julio, no se identificó ningún evento radiación extremo; el 11 de agosto se registró una irradiancia extrema máxima de 1025.78 W/m^2 , a las 11:26:11 h, con una duración de 9 s, una temperatura de aire 24.57°C y una insolación de 4.54 HSP; y, por último, el 15 de septiembre se rastreó una irradiancia extrema máxima de 1267.44 W/m^2 , a las 11:29:34 h, con una duración de 2 s, una temperatura de 21.50°C y una insolación de 2.94 HSP.

Figura 44

Irradiancia entre días con y sin presencia de nubes en la ciudad de Puno



Para finalizar, en la Figura 44, se observa la irradiancia medida en un día nublado y casi despejado en la ciudad de Puno. En cuanto al cielo despejado, se muestra que, en este caso, no se observan saltos de irradiancia solar; en el caso contrario, cuando el cielo está nublado o existe presencia de cierto tipo de nube, se observa el fenómeno conocido como la mejora de nube, el cual es la amplificación de la radiación solar, este hecho se registró cuando los niveles de irradiancia solar son superiores al estándar o la constante solar, es decir, cuando se trata de niveles extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$) o muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$).

En Puno, la media del porcentaje de la presencia de un cielo cubierto por nubes varía significativamente a lo largo del año. Al respecto, aproximadamente, a partir del 21 de abril, se evidencia un cielo bastante despejado, evento que tiene una duración de 5.2 meses, por lo que finaliza el 27 de septiembre, en promedio. En dicho día, por el contrario, comienza el periodo más nublado de Puno, el cual dura 6.8 meses y termina el 21 de abril. Por tanto, se infiere que, durante el segundo periodo descrito, se incrementan las posibilidades de eventos extremos a causa del reflejo en los bordes de las nubes, hecho conocido como el efecto de mejora de la nube.

Cabe resaltar que estas mediciones se lograron gracias al diseño de la plataforma sensorial, la cual informó todos los eventos de irradiancia solar efectuados en las ciudades de Puno y Juliaca. En síntesis, los hallazgos de la presente investigación confirman que los sistemas de medición con estas cualidades constituyen un excelente medio de soporte para las aplicaciones de medición, monitoreo y almacenamiento de data en tiempo real, así como una baja inversión para los sistemas fotovoltaicos de menor tamaño y las plantas fotovoltaicas. Por último, los eventos extremos de irradiancia solar deben considerarse como fechas para las investigaciones de sistemas fotovoltaicos y radiación solar asociados con los rayos UV.

4.7. Discusión de resultados

De acuerdo con los hallazgos obtenidos, se concuerda con lo afirmado por Yordanov et al. (2013a), Piedehierro et al. (2014) y De Andrade y Tiba (2016): los eventos de irradiación solar muy extremos se presentan en condiciones de nubosidad. Estos investigadores indican que la presencia de nubes en el cielo, en una posición cercana al sol, se relaciona directamente con la disminución de la irradiancia solar percibida por los sensores fotovoltaicos, lo cual a su vez repercute en una menor captación de energía solar. No obstante, el comportamiento es distinto en condiciones de nubosidad media, en este caso, la irradiación difusa en los sensores fotovoltaicos puede incrementar la intensidad por causa de la reflexión de la irradiación solar percibida, esto debido a la dispersión de la irradiancia directa desde la base de las nubes. En consecuencia, el rol que cumplen las nubes es vital en la variación de la irradiancia solar a corto plazo, ya que aquello produce eventos que van desde una reducción significativa hasta mejoras sustanciales, de acuerdo con ciertas condiciones, lo cual se verifica con el presente estudio.

Los resultados obtenidos también se demostraron en las investigaciones de Yordanov et al. (2013b), Jamaly y Kleissel (2018) y Espinosa et al. (2018). Los acontecimientos de irradiancia solar extrema pueden durar segundos o minutos, aquello depende de la velocidad de movimiento y el tipo de nube. Un aspecto a considerar en el diseño adecuado de redes en medición y monitoreo por sensores es su respuesta de tiempo. El principal reto, en este caso, se relaciona con las modificaciones constante de espacio y tiempo que ocurren en la generación fotovoltaica originada por las nubes, el movimiento, y tiempo que se tiene en cierto tipo de nube, elemento que se asocia, a su vez, con las variaciones del campo de la irradiancia a escalas de segundos y metros, lo que influye directamente en los pequeños sistemas fotovoltaicos. Aquello también se corrobora en la presente investigación.

Según Tapakis y Charalambides (2014), las variables meteorológicas que influyen en un aumento de la irradiancia no son raras, a menudo no se indican los valores de irradiancia muy altos en la literatura académica. Aquello se explica, principalmente, por el tiempo de respuesta prolongado de los equipos de medición de irradiancia, como consecuencia, se ignora las oscilaciones de irradiancia instantánea y el registro se limita a los valores medios y no al máximo.

4.8. Conclusiones

Como conclusión general, se registró que existen eventos extremos de irradiación solar en la región de Puno, ubicada a más de 3800 m s. n. m.

- Se desarrolló e implementó una plataforma sensorial con el fin de medir y monitorear los eventos extremos de irradiación solar, este equipo fue adaptado tanto a las necesidades como a las condiciones geográficas y climatológicas de las ciudades de Juliaca y Puno, mediante el uso de sistemas fotovoltaicos al nivel micrometeorológico y microescala, con base en IOT y una autonomía energética. Las funciones de esta plataforma sensorial fueron la comunicación y el almacenamiento de data, a través de la implementación de una red de sensores inalámbricos con base en el estándar IEEE 802.11 y los principios del internet de las cosas (IOT). Asimismo, el sistema de medición monitoreó el registro de los valores en tiempo real, tanto en su medición, almacenamiento y comunicación a usuarios remotos a través de aplicativos (p. ej. Android) o servidores web. En cuanto a la transmisión de data, se envía una alerta de notificación al correo, si el nivel de irradiancia es muy extremo, mediante el uso de aplicaciones como ThingSpeak.
- Se identificaron las variaciones y picos más altos de eventos extremos de irradiancia solar a través del módulo fotovoltaico calibrado y el microcontrolador. Durante el periodo de medición en Juliaca, la plataforma captó las oscilaciones de irradiancia relacionadas con el movimien-

to de las nubes, al respecto, el nivel más alto fue de 1566.87 W/m^2 , el 4 de marzo del 2020 a las 12:19:26 h, con una duración de 13 s, y una posición ubicada en una latitud de -15.48805°S y altitud de 3832 m s. n. m. Por otro lado, la irradiación que tuvo mayor duración (46 segundos) alcanzó un nivel de 1407.89 W/m^2 , el 19 de enero de 2020 a las 11:42:19 h. Durante el período de medición en Puno, se obtuvo que la irradiancia más alta fue de 1407.89 W/m^2 , el 11 de enero de 2020 a las 12:20:18 h, con una duración de 29 s. Además, la misma irradiancia se identificó el 12 de febrero a las 10:59:54, con una duración de 27 s, ubicado a una latitud -15.82574°S y una altitud de 3818 m s. n. m.; por su parte, la irradiancia con mayor duración (39 segundos) fue de 1248.90 W/m^2 , el 12 de enero de 2020 a las 12:10:57.

- Se analizó y concluyó que los eventos extremos de irradiancia solar muestran valores muy altos al nivel de la superficie de la región de Puno, a causa de la influencia de las condiciones geográficas y climatológicas que se observan al momento de la medición. Asimismo, se presentaron valores mayores a la irradiación estándar (1000 W/m^2).

4.9. Recomendaciones

- Desarrollar una plataforma de seguimiento de mediciones y monitoreo para establecer e identificar el tipo de nube que produce aumento de la irradiancia solar, a través de la captura de imágenes in situ de las nubes, durante los eventos de irradiancia solar.
- Desarrollar investigaciones profundas y a largo plazo del registro de datos (p. ej., periodos de un año o estaciones de un año), con el fin de lograr una base de datos más consolidada de eventos de irradiancia solar y, de esta manera, obtener mejores resultados.
- Efectuar más proyectos de investigación con base en IOT para poder medir una mayor cantidad de parámetros ambientales en la escala meteorológica y microescala, así como patentar cada uno de estos instrumentos diseñados para este tipo de aplicaciones.

4.10. Sugerencias

- Fomentar el desarrollo de plataformas de medición con base en la IOT para la medición y registro de otros índices o parámetros ambientales, que sirvan tanto para el monitoreo, velocidad del viento, confort térmico, humedad del suelo, entre otros.
- El aspecto más importante en el desarrollo del instrumento fue el diseño y el cotejo o validación de datos para su integración, aquello permitió medir, identificar y monitorear los eventos de irradiancia solar, ya sean extremos ($> 1000 \text{ W/m}^2$) o muy extremos ($> 1367 \text{ W/m}^2$).
- Los eventos de irradiancia solar extremo o muy extremo deben ser considerados como data de análisis para posteriores investigaciones que traten sobre los sistemas fotovoltaicos y su asociación con los rayos UV, así como para promover una mayor discusión y conocimiento sobre la realidad climatológica en el territorio nacional.

CAPÍTULO V

CONSIDERACIONES FINALES

ASPECTOS CONCLUYENTES SOBRE EL USO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO Y UN MICROCONTROLADOR EN EVENTOS EXTREMOS DE IRRADIANCIA SOLAR

La ciencia geográfica, a lo largo de la historia, se ha preocupado por el estudio del medio geográfico; en específico, dentro de esta disciplina, la geografía física es la ciencia que, inicialmente, se abocó al estudio estricto del medio físico. No obstante, con el paso de los años, se empezó a considerar que las actividades del ser humano y de los seres vivos, en general, inciden en la transformación de este (Bonett, 2017).

En ese sentido, la geografía física trata al planeta Tierra como una unidad integral, cuyas partes, mejor denominadas *subsistemas climáticos* influyen e interactúan unos con otros constantemente. Estos subsistemas se relacionan, a su vez, con cada uno de los elementos de la naturaleza, a saber, suelo (litósfera), agua (hidrosfera), hielo (criosfera), aire (atmósfera), seres vivos (biosfera) (Méndez, 2017).

Como resultado de la interacción entre estos subsistemas, se forma el sistema climático, el cual es considerado como un estadio del clima, elemento que también es considerado como producto de la influencia entre estos sistemas. El clima, elemento central de análisis de la climatología; es el promedio de las condiciones de la atmósfera, por periodos extensos, en la literatura especializada, se considera el período de 30 años (Lozano, 2018).

La atmósfera, como tal, es la masa de aire que se ubica sobre la superficie terrestre, es considerada, además, como un sistema que se caracteriza por su gran dinamismo y alto nivel de incidencia en el resto de subsistemas climáticos. Este elemento presenta características que la definen, entre ellas, se presenta la presión, la humedad, la temperatura, la velocidad del viento, entre otras.

En la literatura científica, se observa que existe una gran preocupación en torno al cambio del clima, fenómeno que hasta hace unos 100 años era considerado natural y propio del sistema de la Tierra, pero que, en la actualidad, alarma a la comunidad científica y a la población en general, debido al incremento desmedido de la velocidad de su cambio.

Las consecuencias del cambio climático en la actualidad son visibles y reales, estos repercuten en las distintas formas de vida que existen en la Tierra, así como en el funcionamiento de este como un todo integral. Por tales motivos, es que detener o disminuir el avance del cambio climático constituyen los retos más complejos de este siglo, tanto para la comunidad académica como para los actores gubernamentales internacionales y la población en general (García et al., 2021).

El cambio climático afecta a los ecosistemas del mundo, y los seres que lo conforman, entre ellos, el ser humano, la fauna, la flora, el medio terrestre en sí y sus distintas formas geomorfológicas. De manera general, los estudiosos agregan que, debido al incremento exponencial de la población mundial y, en consecuencia, al generarse una mayor demanda de energía, sobre todo de origen fósil, ha aumentado la concentración de los gases del

efecto invernadero, lo cual repercute en el incremento del calentamiento global (García et al., 2021; Llamas y Llamas, 2018).

Se observa, entonces, que una de las causas del cambio climático es el calentamiento global, el cual en buena medida se encuentra determinado por el uso desmedido de fuentes de energía provenientes de los restos fósiles. Al respecto, la transformación de esta para su conversión en energía eléctrica, involucra la quema de combustibles, proceso en el que se libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, aparte de la obtención de energía térmica (Llamas y Llamas, 2018).

En esa misma línea, en el estudio de Sánchez (2016), se expone que, a partir de mediados del siglo XX, los niveles de CO_2 aumentaron exponencialmente: se pasó de una emisión aproximada de 310 ppm a 400 ppm en menos de 100 años, incremento abrupto que no se había registrado hasta la actualidad. Se infiere, por tanto, que una de las causas principales del cambio climático y el calentamiento global reside en el uso de un tipo de energía, en específico, el de origen fósil.

A pesar de esta problemática, existen algunas soluciones a este respecto, estas radican en el uso de energía alternas y sostenibles, tales como la que se obtiene a partir del viento, el sol, los océanos, entre otros. Todas estas fuentes constituyen medios alternos de energía aprovechable para las actividades humanas y, principalmente, son fuentes que no tienen un impacto negativo para el planeta (Llamas y Llamas, 2018).

Entre estos tipos de energía, se resalta la que se obtiene por medio de la energía que emite el sol, denominada *energía solar*. En Gómez (2020), se señala que el uso de esta fuente no es nuevo, debido a que la naturaleza la ha integrado en sus procesos como medio proveedor de energía y, en el caso del ser humano, la ha aprovechado de manera indirecta y no sistemática. Además, otro rasgo importante para considerar su uso masivo es que el sol no es exclusivo de una zona terrestre; su alcance es global, por lo

que incide en todas las naciones del planeta sin distinción alguna (Gómez, 2018).

A manera de síntesis, se tiene que el clima ha estado variando considerablemente, debido al sobreuso de fuentes de energía no renovables y contaminantes, como la energía fósil. Las soluciones más pertinentes son cambiar estas fuentes por otras que no sean agotables y no tengan consecuencias dañinas para el mantenimiento de los ecosistemas del planeta. De esta manera, es que se sobresale el empleo de energías más limpias y amigables con el planeta, como la energía solar.

La pregunta, en este punto, es cómo se puede aprovechar la energía del sol y convertirla en energía eléctrica, lista y apta para el uso humano. Al respecto, los estudiosos de la energía han desarrollado módulos fotovoltaicos, estos son equipos compuestos por celdas o células que captan la radiación solar y la convierten en energía fotovoltaica (Gómez, 2021).

El módulo fotovoltaico es el principal componente del sistema fotovoltaico, elemento que se aboca a la captación de la energía solar y la convierte en energía eléctrica mediante el uso de celdas fotovoltaicas. Al respecto, la energía que proviene del sol se divide en el uso de su luz o calor, la primera se relaciona con la energía solar fotovoltaica, mientras que la segunda se asocia con la energía solar térmica. La energía que se emplea para la obtención de electricidad es la fotovoltaica, es decir, se emplea la luz que emane del sol (Ministerio de Energía, 2016).

En este punto, es necesario resaltar la importancia del conocimiento de las condiciones climatológicas de un área, sobre todo, de aquellas que están expuestas a mayores niveles de radiación. En la literatura, se indica que estas zonas son, generalmente, las que se encuentran en un gran nivel de altitud.

Laguarda (2021) indica que conocer la irradiancia solar de una determinada zona es vital para el desarrollo, implementación y evaluación del uso de

la energía solar, es decir, si se desea implementar un sistema fotovoltaico, es necesario conocer previamente las condiciones de irradiancia solar de la zona. Además, el autor añade que esta data no solo sirve para el manejo energético, sino que también es necesario para la toma de decisiones en cuanto a temas agropecuarios y de salud pública.

Por otra parte, uno de los motivos que sustentan por qué se debe conocer los niveles de irradiación solar es que esta constituye la data que nos permite investigar a profundidad otros elementos importantes como la radiación ultravioleta UV. La acumulación excesiva de este tipo de radiación tiene repercusiones en la salud humana, tal como aclara Polo y Miranda (2020), la exposición desmedida a estos rayos se asocia con el desarrollo de enfermedades en los ojos o la piel, tales como quemaduras solares, envejecimiento, cáncer de piel, cataratas, tumores malignos, entre otros.

En ese sentido, expuestos estos alcances, es que se desarrolló una plataforma sensorial en las ciudades de Puno y Juliaca, ubicadas en el altiplano de Perú. Este instrumento se diseñó, calibró e implementó con el fin de conocer los niveles de irradiancia solar en dichas zonas.

Como parte de los resultados, se determinó que, en estas ciudades, se presentan eventos de irradiancia solar extrema ($> 1000 \text{ W/m}^2$) y muy extrema ($> 1367 \text{ W/m}^2$), los cuales superan la constante solar en gran medida. Asimismo, se estableció que los mayores niveles de irradiación se asocian con la presencia del fenómeno denominado como la mejora de nubes.

Toda esta data nos permite:

1. En primer lugar, conocer la realidad climatológica de una parte del territorio nacional y,
2. En segundo lugar, aunado a la toma de decisiones e implementación de políticas públicas, considerarla como información base para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos, así como para la elaboración de programas de prevención en materia de agricultura o salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrian, S. (2020). *Sistema de mapeo compresivo de fotocorriente para dispositivos fotovoltaicos*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional del Comahue]. Repositorio Institucional UN. file:///C:/Users/user/Downloads/pip_CE-REZO_version_final.pdf
- Aguilera, M., Borderías, P., González, P. y Santos, J. (2020). *Geografía General I. Geografía Física* [edición digital]. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://bit.ly/3AjbC6A>
- Ahrens, D. & Henson, R. (2021). *Meteorology today: an introduction to weather, climate and the environment*. Cengage Learning. <https://bit.ly/3uGUWEF>
- Alandes, D. (2021). *Plataforma y aplicación OIT para evitar el aislamiento social de personas mayores*. [tesis de máster, Universitat Politècnica de Valencia]. Repositorio Institucional UN. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/170094/Alandes%20-%20Plataforma%20y%20aplicacion%20IoT%20para%20evitar%20el%20aislamiento%20social%20de%20personas%20mayores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- American Meteorological Society [AMS] (2021a, 13 de septiembre). Climatology. En *Glossary of Meteorology*. <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Climatology>

- American Meteorological Society [AMS] (2021b, 9 de marzo). Precipitation. En *Glossary of Meteorology*. <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Climatology>
- Aparicio, J. (2019). Una aproximación al efecto del cambio climático en los camélidos domésticos en Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 87-93. http://www.scielo.org.bo/pdf/rriarn/v6n1/v6n1_a12.pdf
- Arias, R. y Pérez, I. (2018). Nueva metodología para determinar los parámetros de un módulo fotovoltaico. *Revista de Ingeniería Energética*, 39(1), 38-47. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181559012018000100006
- AutoSolar (2021, 4 de febrero). Qué es un panel solar y cómo funciona. Guía definitiva [2021]. <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar-y-como-funciona-guia-definitiva-2021>
- Ayuso, R. (2021). *Instalación eléctrica de un área de servicio con autoconsumo*. [tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Institucional UN. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47921/TFG-I-1909.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Badii, M., Guillen, A. y Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 11(1), 141-155. <https://bit.ly/3uwIFCO>.
- Baque, J. (2020). *Diseño de circuitos programables con microcontroladores mediante tarjeta Raspberry PI para prácticas en el laboratorio de electrónica, de la carrera Ingeniería en computación y redes*. [tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2669/1/BAQUE%20PINLAY%20JOHANNA%20ROSALIA.pdf>

- Bárez, L. (2019). *Estudio y mejora de la disipación de calor en un módulo fotovoltaico*. [tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio Institucional UN. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/30456/TFG_Lidia_Barez_Alvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barrero, J. (2017). *Geografía física de Colombia*. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1454/Geograf%C3%ADa%20f%C3%ADsica%20de%20Colombia.pdf?sequence=1>
- Beuf, A. (2018). De la geografía social a la geografía como ciencia social. En J. Montoya (Ed.), *Temas y problemas de geografía humana: Una perspectiva contemporánea* (pp. 303-320). Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/publication/328916918_De_la_geografia_social_a_la_geografia_como_ciencia_social
- Bonett, J. (2017). *Aplicación del software Google Earth para mejorar el rendimiento académico de la geografía física en estudiantes del quinto grado del nivel de educación secundaria del colegio militar Francisco Bolognesi, Arequipa, 2017* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2959>
- Bothe, O. (2018). What even is ‘Climate’? *Geoscience Communication Discussions*, 1-18. <https://doi.org/10.5194/gc-2018-11>
- Bustamante, C. y Chávez, M. (2018). *Implementación de sistema de abastecimiento de agua mediante bombas solares*. [tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46828/3560901543793UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cantor, G., Saldarriaga, J. y Vargas, M. (2017). Cambio climático: impactos y perspectivas de investigación desde una visión multidisciplinar. *Tendencias*, 18(2), 122-138. <https://doi.org/10.22267/rtend.171802.80>
- Cañibano, A. y Confalone, A. (2020). Los conocimientos previos matemáticos en otras ciencias: caso de la irradiancia solar en agrometeorología. *Épsilon - Revista de Educación Matemática "Thales"*, (105), 59-65. <https://bit.ly/3owMZRq>.
- Castro, T. (2018). *Sistema de medida de temperatura basado en NodeMCU y Android*. [tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio Institucional UN. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29308/TFG_Teresa_Castro_Blanco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ceja, J., Renteria, R., Ruelas, R. y Ochoa, G. (setiembre de 2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 1(2), 24-36. https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num2/ECORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_VI_N2_3.pdf
- Chambi, V. (2018). *Estudio y análisis de la actividad solar, radiación solar global y radiación uv en la ciudad de Arequipa*. [tesis de maestría, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/2WDMutd>.
- Chura, V., Puma, P., Maman, V. y Viveros, H. (2021). Diseño, implementación y análisis económico de un Micro Sistema Fotovoltaico Conectado a Red (MSFCR) de 3,2 kWp con inversor-string para fines de investigación en la sede de Ayabacas - UNAJ. *ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica*, 3(2), 13-18. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.133>.

- Correa, G. (2017). Cambio climático, energía solar y disputas comerciales. *POR-TES, Revista mexicana de estudios sobre la Cuenca del Pacífico*, 11(21), 7-26. <https://bit.ly/2WDU338>.
- Cucaita, O. y Cabeza, I. (2017). Tendencias en Ingeniería de materiales para la fabricación de células solares fotovoltaicas. *Revista Ingeniería Solidaria*. <http://hdl.handle.net/11634/3982>
- De Andrade, R. & Tiba, C. (2016). Extreme global solar irradiance due to cloud enhancement in northeastern Brazil. *Renewable Energy*, 86, 1433–1441. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.012>
- Dedios, N., Calle, J., Rubio, L. y Vásquez, Y. (2017). Aplicación de Dispositivos Móviles en la Medición de los Niveles de Radiación Ultravioleta y su Validación en el Distrito de Chulucanas Región Piura Perú. *Revista Ingenierías USBMed*, 8(1), 49-55. <https://bit.ly/3oxjIWJ>.
- Díaz, M. y Toro, J. (2019). *Diseño de un dispositivo para estimar y predecir la radiación solar en Lambayeque utilizando modelos empíricos y redes neuronales*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4071/BC-TES-TMP-2868.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dibene, L., Duarte, J., Gonzales, S. y Paredes, C. (2018). Diseño y construcción de un pirheliómetro para medición de radiación directa. *Revista de Energías Renovables*, 2(7), 1-12. <https://bit.ly/3Dg2cua>.
- Ejalde, R. y Ponce, C. (2016). Los desafíos de la intermitencia de las energías renovables no convencionales. *Observatorio Económico*, (111), 2-3. <https://bit.ly/3BdaK4G>.

- Espinosa, M., Agüera, A., Gonzales, J. & Jose, P. (2018). An on-line low-cost irradiance monitoring network with sub-second sampling adapted to small-scale PV systems. *Sensors (Switzerland)*, 18(10), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s18103405>
- García, E., Pérez, A. y Echeverría, M. (2021). Efectos del cambio climático en los ecosistemas y las energías renovables. *Revista Qualitas*, 21(21), 25-43. <https://revistas.unibe.edu.ec/index.php/qualitas/article/view/91>
- Gerena, J., Ruiz, J. y Horta, I. (2020). *Energías Renovables y su relación con los Sistemas de Gestión Ambiental* [tesis de pregrado, Universidad Santiago de Cali].. <https://bit.ly/3DfgcVh>.
- Gil, A. y Olcina, J. (2017). *Tratado de Climatología*. Universitat d'Alacant. <https://bit.ly/3D9zzPo>
- Gimeno, F., Orts, S. y Seguí, S. (2014). *Módulos fotovoltaicos*. Universitat Politècnica de Valencia. https://www.cursofotovoltaica.com/wp-content/uploads/2017/07/WEB_FV_
- Gómez, A. (2019, 23 de marzo). *El sol, la tierra y el tiempo*. Consejo Ejecutivo de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). <https://bit.ly/3B7umqF>.
- Gómez, E. (2021). *Sistema de medición de variables eléctricas en instalaciones de generación de energía solar fotovoltaica en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta*. [tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional UN. <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/4722/1/2021EduarAndr%c3%a9sG%c3%b3mezDunque.pdf>

- Gómez, J. (2018). *La energía solar fotovoltaica en Colombia; potenciales, antecedentes y perspectivas*. [artículo de revisión] Universidad Santo Tomas. Repositorio Institucional UN. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312>
- Gómez, O. (2020). El reto de las energías renovables no convencionales. *Revista Universidad EAFIT*, 55(175), 58-63. <http://hdl.handle.net/10784/17124>
- González, M. (abril-junio de 2020). Experimentos con un módulo fotovoltaico. *Revista Española de Física*, 34(2), 34-37. file:///C:/Users/user/Downloads/2633-5465-1-PB.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2018). Anexo I: Glosario. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Eds.), *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- Gutiérrez, M., Ramírez, D. & Otero-Caicedo, R. (2020). Experimental evaluation of the effect of spatial position on the power of a 5W LED. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 30(2), 32-44. <http://dx.doi.org/10.15517/ri.v30i2.39823>.
- Guzmán, J., Araya, F., Castro, G. y Obando, J. (2016). Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiente.

- cia energética. *Tecnología en Marcha, Encuentro de Investigación y Extensión 2016*. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2984> Intro_FIP_Cap02_Tri-na_Modulos_sp_140525.pdf
- Jamaly, M. & Kleissl, J. (2018). Robust cloud motion estimation by spatio-temporal correlation analysis of irradiance data. *Solar Energy*, 159, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.075>
- Laguarda, A. (2021). *Modelado de la irradiancia solar sobre la superficie terrestre: Modelos físicos e híbridos utilizando información satelital sobre la Pampa Húmeda*. [tesis de doctorado, Universidad de la República]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3Fsm3bN>.
- Llamas, A. y Llamas, A. (2018). *Generación de energía fósil, energía renovable y el cambio climático*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. <http://hdl.handle.net/11285/630961>
- Lozano, W. (2018). *Clima, Hidrología y Meteorología para ciencias ambientales e ingeniería*. Universidad Piloto de Colombia. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=81B1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=clima+meteorol%C3%B3gico&ots=6x_tjDk1qN&sig=EWuJlO-wHJ3Y-DO1zhLGeNliYgp0#v=onepage&q=clima%20meteorol%C3%B3gico&f=false
- Luna, C., Jiménez, F., Moreno, R., y Mulcué, L. (2020). Potencial de irradiación solar para generar electricidad en el departamento del Putumayo de Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 153-162. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020015>.
- Martín, L., Rivera, J. y Castizo, R. (2018). *Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica*. Observatorio de Desarrollo Sostenible y Cambio

- Climático de la Rábida. <https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2019/06/SEGIB-Informe-La-Ra%CC%81bida-2018-completo-2.pdf>
- Martín, S. (2019). *Estudio de las células y paneles de una instalación fotovoltaica*. [tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Institucional UN. <https://core.ac.uk/download/pdf/222807916.pdf>
- Méndez, A. (2020). Un paseo etimológico por la climatología (I). *Asociación Meteorológica Española*, 5(58), 21-23. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/10846>
- Ministerio de Energía (2016). *Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaico. Programa techos solares públicos*. Gobierno de Chile https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_evaluacion_sistema_fv.pdf
- Nakama, V. (2017). *Método propuesto para la traslación de la curva I-V de un módulo fotovoltaico medida bajo condiciones reales de operación a diversas condiciones de funcionamiento*. [tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UN. file:///C:/Users/user/Downloads/nakama_mv.pdf
- Olcina, J. (2020). Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 66(1), 159-182. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.629>
- Pereira, E., Martins, F., Gonçalves, A., Costa, R., Lopes, F., Rüther, R., Abreu, S., Tiepolo, G., Pereira, S. y Souza, J. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar* [2ª ed.]. INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

- Petersen J., Sack, D. & Gabler, R. (2017). *Physical Geography* [11th edition]. Cengage Learning. <https://bit.ly/3FmyPbo>
- Piedehierro, A., Antón, M., Cazorla, A., Alados, L. & Olmo, J. (2014). Evaluation of enhancement events of total solar irradiance during cloudy conditions at Granada (Southeastern Spain). *Atmospheric Research*, 135–136, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.08.008>
- Planas, O. (2015, 2 de setiembre). *Panel fotovoltaico*. Energía Solar. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico>
- Polo, C. y Miranda, G. (2020). Cuantificación y caracterización de la radiación ultravioleta-b en la ciudad de Tacna, periodo: 2012-2014. *Tecnia*, 30(1), 43-52. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.854>
- Porta, J., López, M. y Poch, R. (2019). *Edafología. Uso y protección de suelos* [4.ª edición]. Ediciones Mundi-Prensa. <https://bit.ly/2YnLR7R>
- Pozo, W. (2019). *Generación de energía fotovoltaica y su utilización en sistema de bombeo para riego tecnificado, aplicando la guía PMBOK*. [tesis de magíster, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/2026/AMB-POZ-TIM-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quispe, W., Condori, R., Beltrán, N. y Negrão, W. (2021). Medición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar mediante una plataforma sensorial de bajo costo en las condiciones geográficas y climatológicas de Juliaca. *ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica*, 3(2), 53-62. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.138>.

- Ramos, J., Beltrán, N., Aquino, E., Sarmiento, V., Condori, R., Pizarro, H., Puma, P., & Macedo, W. (2020, 27 de julio). *Occurrences of Extreme Solar Irradiance at 3812 meters above sea level, at Lake Titicaca (Puno - Peru)* [ponencia]. 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, Virtual Edition. <https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.553>.
- Ranero, A. (2021). *Estudio de viabilidad de un sello de calidad para paneles fotovoltaicos de segundo uso*. [tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. Repositorio Institucional UN. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47284/TFG-I-1880.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, J., Carlesso, F., Vieira, L. y Da Silva, L. (2018). A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3), s. n. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0342>.
- Rohli, R. & Vega, A. (2018). *Climatology* [4th edition]. Jones & Barlett Learning LCC. <https://bit.ly/2YrqIdc>
- Ruiz, A., Gómez, Y. y Arteaga, R. (2019, 19 de septiembre). *Evaluación de modelos empíricos para estimar radiación solar global diaria en Chapingo, México* [ponencia]. Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AUR-PAES 2019, Mazatlán y Sinaloa, México. <https://bit.ly/3D8D6gI>.
- Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(1), 128-138. <http://dx.doi.org/10.17843/rp-mesp.2016.331.2014>
- Sanchis, R., Solaz, J. y Sanjosé, V. (2018). Creencias sobre tiempo meteorológico, clima y cambio climático en estudiantes de secundaria. *Opción*, 34(86),

987-1010. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/opcion/article/view/23868>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2019). *Orientaciones para el análisis del clima y determinación de los peligros asociado al cambio climático*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01402SENA-12.pdf>

Silveira, D. (2020). *Automatización y control de persianas eléctricas mediante microcontroladores*. [tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Repositorio Institucional UN. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/32780/TFG_David_Silveira_Amaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Spiegeler, C. y Cifuentes, J. (2016). *Definición e información de energías renovables*. [Conjunto de datos. Inédito]. Repositorio del Sistema bibliotecario USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4455>.

Suarez, M. (2021). *Sistema electrónico basado en tecnologías WIFI e identificación por radiofrecuencia (RFID) para el registro automático de personas en lugares de gran afluencia*. [tesis de pregrado, niversidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UN. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42451/masuarzpe.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Suertegaray, D. (2018). *Geografía física e geomorfología: uma releitura* [2.^a edição]. Editora Compasso Lugar-Cultura. <https://bit.ly/3mss8MA>

Surjadinata, B., Jacobo, D. y Cisneros, L. (2017). La luz UVA, UVB y UVC mejora la biosíntesis de antioxidantes fenólicos en zanahorias recién cortadas a través de un efecto sinérgico con las heridas. *Revista Moléculas*, 22(4), 668. <https://doi.org/10.3390/molecules22040668>.

- Tapakis, R. & Charalambides, A. (2014). Enhanced values of global irradiance due to the presence of clouds in Eastern Mediterranean. *Renewable Energy*, 62, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.001>
- Torrico, J. y Gullón, M. (1 de junio de 2021). Energía Solar fotovoltaico: medidas de las curvas características de un modulo fotovoltaico utilizando un trazador de curvas I-V a temperatura constante y a irradiación solar constante tomando como base la norma IEC 60904-1: 2020. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 91-111. doi:<https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.24>
- Valderrama, J. y Brea, E. (2018). ESP8266: Un microcontrolador para el Internet de las Cosas. [JIFI2018, jornadas de investigación]. Universidad Central de Venezuela. <http://www.ing.ucv.ve/jifi2018/documentos/electronica/ERT-006.pdf>
- Vangipuram, R. & Feldman, S. (2016). Ultraviolet phototherapy for cutaneous diseases: a concisereview. *Oral Diseases*, 22, 253–259. <https://doi.org/10.1111/odi.12366>
- Wilches, J., Bandera, J. y Méndez, J. (2021). Luz ultravioleta C: una alternativa eficiente contra la pandemia. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(1), 3-13. <https://bit.ly/3oCRIGV>.
- Yordanov, G., Midtgård, O., Saetre, T., Nielsen, H. & Norum, L. (2013a, 3-8 de junio). Overirradiance (cloud enhancement) events at high latitudes. 2012 [sesión de conferencia]. IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) PART 2, Austin, USA. <http://doi.org/10.4229/27thEUP-VSEC2012-4BV.4.50>

- Yordanov, G., Saetre, T. & Midtgard, O. (2013b). 100-millisecond Resolution for Accurate Overirradiance Measurements. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 3(4), 1354–1360. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2013.2264621>
- Zúñiga, I. y Crespo, E. (2021). *Meteorología y Climatología* [edición digital]. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://bit.ly/3muMFjq>

