
ESTABILIDAD DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA, INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y APLICACIÓN DE GEMELOS DIGITALES

MÓDULO TyHM

Juan Pablo Siracusa

Department of Industrial Engineering
Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
jpsb2013@gmail.com

Mariana Mut

Department of Industrial Engineering
Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
mutmariana04@gmail.com

Isabella Morandini Monteverdi

Department of Industrial Engineering
Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
isa.morandini03@gmail.com

Ana Gordillo

Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
gordilloa121@gmail.com

Genovese Luciano

Department of Industrial Engineering
Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
luchogenovese8@gmail.com

Tomás Raby

Department of Industrial Engineering
Facultad de Ingeniería UNCUIYO
Mendoza, Argentina
tomyraby@gmail.com

Año 2024

Abstract

This paper analyzes the generation of photovoltaic solar energy and its sensitivity to climatic conditions and climate change. Solar cells, fundamental in this technology, are affected by high temperatures, especially in warm regions. The study shows that two-axis solar tracking and cooling of panels are essential to maintain efficiency in these climates.

The impact of climate change, including the albedo effect of clouds, is addressed, highlighting how these factors decrease the production of photovoltaic energy. The application of digital twins is proposed to optimize the use of solar panels. Digital twins enable real-time simulation and monitoring, improving the efficiency and sustainability of solar power production, and helping to mitigate the effects of climate change.

1 Introduction y conceptos previos

1.1 Energía solar

La generación de energía fotovoltaica es una tecnología que utiliza el efecto fotovoltaico de la interfaz del semiconductor para transformar la energía luminosa directamente en energía eléctrica. Las células solares son el componente clave de esta tecnología [1]. Después de una serie de células solares encapsuladas por protección, se puede formar un módulo de células solares de gran superficie, que, acoplado con el regulador de potencia y otros componentes, forma un dispositivo de sistema fotovoltaico.

Con el progreso de la ciencia, lo primero que hay que conocer es el principio de la generación de energía solar fotovoltaica.

Las células solares están formadas por dos tipos de semiconductores: el silicio de tipo P y el silicio de tipo N. Al añadir átomos, el silicio de tipo P pierde un electrón, mientras que el silicio de tipo N se fabrica añadiendo átomos para que tenga un electrón más.

Cuando la luz incide sobre las células solares y es absorbida por la interfaz del semiconductor, el fotón con la energía suficiente puede estimular el electrón del enlace covalente entre el silicio tipo P y el tipo N para producir un par electrón-hueco. Antes de que el complejo de electrón y hueco, que está cerca de la capa de interfaz del semiconductor, se recombine, se separan debido al campo eléctrico de la carga espacial. El electrón se moverá a la región N, que tiene carga positiva, y el hueco se moverá a la región P, que tiene carga negativa. Con la separación de cargas en la capa de interfaz del semiconductor, se produce una tensión entre la región P y la región N. En las células solares de silicio cristalino, el valor típico de la tensión de circuito abierto es de $0.5 \sim 0.6V$. Cuantos más pares electrón-hueco se produzcan en la interfaz del semiconductor, mayor será la corriente eléctrica. Cuanta más energía solar absorba la interfaz del semiconductor y mayor sea el área de las células solares, mayor será la corriente eléctrica cuando el sistema esté en funcionamiento.

El tamaño de una célula solar es aproximadamente el de la palma de la mano de un adulto. Tiene forma octogonal y es de color azul-negro. Las células solares se suelen construir junto con las baterías solares. Las unidades grandes son módulos solares. Cuando muchas células solares se construyen juntas, se forman los paneles solares.

1.2 Cambio climático

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas, lo que produce gases que atrapan el calor.

Las emisiones de gases de efecto invernadero cubren la Tierra y retienen el calor del sol, lo que conduce al calentamiento global y al cambio climático. El mundo se está calentando más rápidamente que en cualquier otro momento de la historia registrada.

El calentamiento global afecta a todas las partes del sistema climático de la Tierra. Las temperaturas de la superficie global han aumentado $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2.0\text{ }^{\circ}\text{F}$) [2] y los científicos dicen que aumentarán aún más en el futuro. Los cambios en el clima no son uniformes en toda la Tierra. En particular, la mayoría de las zonas terrestres se han calentado más rápido que las zonas oceánicas. El Ártico se está calentando más rápido que la mayoría de las otras regiones. Las temperaturas nocturnas han aumentado más rápido que las diurnas. El impacto sobre la naturaleza y las personas depende de cuánto más se caliente la Tierra.

Por otro lado, a partir de un estudio realizado por la NASA [3] se obtuvo el gráfico de figure 1.

Este gráfico compara los cambios en la temperatura global de la superficie (línea roja) y la energía solar recibida por la Tierra (línea amarilla) en vatios (unidades de energía) por metro cuadrado desde 1880. Las líneas más claras y finas muestran los niveles anuales, mientras que las más gruesas muestran las tendencias medias de 11 años. Las medias de once años se utilizan para reducir el ruido natural interanual de los datos y hacer más evidentes las tendencias subyacentes.

La cantidad de energía solar que recibe la Tierra ha seguido el ciclo natural de 11 años del Sol, con pequeños altibajos, sin aumento neto desde la década de 1950. Durante el mismo periodo, la temperatura global ha aumentado notablemente. Por tanto, es extremadamente improbable que el Sol haya causado la tendencia observada de calentamiento de la temperatura global en el último medio siglo.

Por lo tanto, la variación en el rendimiento de los paneles solares debido al calentamiento global no se debe a cambios en la intensidad de la radiación, sino principalmente a cambios en la temperatura.

2 Hipótesis

La generación de energía solar es sensible a los cambios climáticos, lo que impone una limitación definitiva a la estabilidad del suministro de electricidad solar. Por ejemplo, los cambios en la frecuencia de los climas nublados y lluviosos pueden afectar sustancialmente la producción de energía fotovoltaica. Por lo tanto,

cuantificar el impacto del cambio climático en la estabilidad de la energía solar es importante para lograr un suministro eléctrico estable.

3 Resultados

3.1 Efecto de la temperatura

El funcionamiento de las células solares y su producción de energía eléctrica se han visto afectados por el cambio climático, especialmente en las regiones cálidas, que se han vuelto significativamente más calurosas y siguen recibiendo niveles relativamente altos de radiación solar durante todo el año. El aumento de la temperatura ambiente y de la radiación solar se traduce en un aumento de la temperatura de las células fotovoltaicas y, por tanto, en la reducción de la potencia y la eficiencia del módulo fotovoltaico. En figure 2 se muestra un esquema representativo. Para comenzar, se analizó el paper [4] que investiga el rendimiento de un módulo fotovoltaico a lo largo del año en una región cálida, teniendo en cuenta las variaciones de la temperatura de las células resultantes de los cambios diarios de la temperatura ambiente y la radiación solar. También en este paper se examinan los ángulos de inclinación y el seguimiento en dos ejes.

Los resultados indican que el sistema de seguimiento solar de dos ejes es fundamental en regiones cálidas para obtener una mayor potencia de salida. Por lo tanto, parte de esta potencia puede utilizarse para refrigerar los paneles solares utilizando diversos métodos para mantener alta su eficiencia, como el funcionamiento de ventiladores de aire o el funcionamiento de bombas para enfriarlos con refrigerante.

En figure 3 se muestra la radiación solar diaria para diferentes ángulos de inclinación y seguimiento en dos ejes en la ciudad de Nayaf, Irak, según el «Laboratorio Nacional de Energías Renovables».

En función de los cambios de temperatura ambiente y radiación solar a lo largo del año, figure 4 muestra la temperatura media de las células para cada mes.

Figura 5 muestra el promedio mensual de producción máxima de energía fotovoltaica, que se ve afectado negativamente por el aumento de la temperatura de la célula fotovoltaica, como se muestra en figura 4.

Según figure 6, el aumento de la temperatura reduce significativamente la eficiencia fotovoltaica mensual del módulo. En julio, la eficiencia disminuyó aproximadamente un 3.5%.

Los cambios de la eficiencia fotovoltaica con la temperatura de las células pueden verse en figure 7.

La investigación de la variación de la temperatura de la célula debida a las condiciones meteorológicas ha permitido una mejor comprensión del comportamiento dinámico de una célula solar cuando trabaja en un ambiente cálido. Los resultados de la investigación en el presente estudio demuestran la importancia de utilizar sistemas de seguimiento de dos ejes en regiones cálidas para obtener una mayor potencia de salida, donde parte de esa potencia puede utilizarse en el proceso de refrigeración de los paneles solares para evitar la pérdida de eficiencia de la célula, utilizando ventiladores o bombas para enfriarlos con el refrigerante adecuado. Los resultados mostraron que el problema de la refrigeración de las células solares en las regiones cálidas se está convirtiendo en una necesidad crítica para mejorar la eficiencia de los paneles solares.

En regiones cálidas, se está convirtiendo en una necesidad mejorar la eficiencia de las células solares, garantizar la continuidad de su trabajo y aumentar la producción de energía y su vida útil.

El trabajo de este estudio de caso pretende determinar el rendimiento de un módulo fotovoltaico instalado en una región cálida a lo largo del año, teniendo en cuenta las fluctuaciones diarias de la temperatura, variaciones de la temperatura ambiente y de la radiación solar entrante. Al aumentar la temperatura de la célula, la potencia máxima y la eficiencia disminuyen, a pesar de que la corriente de cortocircuito refleja el crecimiento primario en el nivel de la tasa de generación de portadores de carga. El estudio considera el efecto de los ángulos de inclinación del módulo fotovoltaico sobre el rendimiento del sistema.

Los resultados indican que el sistema de seguimiento de dos ejes para la energía solar es esencial para obtener una mayor potencia de salida, especialmente en regiones cálidas que se han visto afectadas por el cambio climático y se han vuelto más calurosas recientemente, para compensar la pérdida de potencia. Así, una parte de esta energía puede utilizarse para refrigerar los paneles solares mediante varios medios para mantener alta su eficiencia, como ventiladores de aire o bombas para enfriarlos con refrigerante.

Según los resultados de este estudio, es fundamental mejorar la eficiencia de los paneles solares en regiones cálidas para garantizar su funcionamiento continuo y aumentar su producción de energía y su vida útil.

3.2 Efecto Albedo de las nubes e incidencia en la radiación percibida en la superficie terrestre

El albedo es una medida de la reflectividad de las nubes [5]. Los albedos más elevados indican un mayor grado de reflectividad, lo que significa que un menor porcentaje de radiación solar alcanza la superficie, disminuyendo así la producción de energía fotovoltaica. Modelos matemáticos y observaciones experimentales sugieren que el albedo depende de la densidad del número de gotas, el radio de las gotas y la densidad óptica de las nubes [6][7]. Evidencia experimental muestra que el efecto del albedo puede tener resultados tanto de calentamiento como de enfriamiento global. Nubes finas y de alta elevación de tipo cirrus tienden a aumentar el efecto del calentamiento, ya que impiden la salida de la radiación reflejada por la superficie terrestre hacia el exterior de la atmósfera, reteniendo y aumentando así la cantidad de radiación percibida por la superficie. Por otro lado, nubes densas y de baja elevación de tipo stratocumulus están asociadas a efectos de enfriamiento ya que son capaces de reflejar la radiación solar entrante e impiden que esta llegue hasta la superficie terrestre [8]. En general, el efecto conjunto de las nubes tiende más al enfriamiento de la superficie terrestre que al calentamiento.

En figure 8 se muestran las nubes Stratocumulus y en figure 9 las nubes Cirrus.

Como se puede observar en la tabla de figura 10, el efecto del albedo depende del tipo de nube considerada. Los datos presentados a continuación presentan el cambio del flujo radiativo inducido por las nubes (CFC) para una cobertura total de nubes de las respectivas nubes. Los datos provienen de modelos matemáticos realizados a partir de los datos del Proyecto internacional de climatología de nubes por satélite (ISCCP) y fueron desarrollados por Cheng, Rossow y Zhang [9].

Por otro lado, análisis de los datos de ISCCP entre 1985 y 1993 muestran una relación negativa entre la temperatura de las nubes y las densidades de ellas, como se muestra en figure 11 [10].

Finalmente estudios y modelos matemáticos sugieren que existe una correlación lineal negativa entre la temperatura de la superficie terrestre y el grado de cobertura de nubes [11]. Esta correlación negativa indica que temperaturas terrestres más elevadas están asociadas a una menor cobertura de nubes, disminuyendo el albedo efectivo percibido en la superficie terrestre. Como ya se mencionó anteriormente, las temperaturas terrestres han sufrido un aumento considerable en los últimos años, por lo que se espera que disminuya el grado de cobertura de las nubes debido al efecto de la temperatura.

Teniendo esto en cuenta, se infiere que el efecto de las nubes sobre la radiación percibida en la superficie terrestre depende en gran parte a cambios de temperatura. El aumento de la temperatura lleva a nubes con menor densidad. Esto reduce considerablemente el efecto albedo, permitiendo una mayor incidencia de radiación a la superficie terrestre. Finalmente, modelos basados en observaciones experimentales muestran que el aumento de temperatura el grado de cobertura disminuye con el aumento de la temperatura. Análogamente, se espera que la densidad óptica de las nubes también decrezca con el aumento de la temperatura.

El efecto del albedo juega un rol fundamental en el cambio climático pero no parece tener efectos significativos en la generación de energía fotovoltaica. Esto se infiere a partir de los datos presentados con anterioridad, que muestran cambios en el cambio del flujo radiativo inducido por las nubes (CFC) de acuerdo al tipo de nube considerada. El caso más desfavorable (cobertura completa de nubes stratocumulos) en niveles superficiales, sólo muestra una pérdida de 13.2 W/m^2 en la incidencia de radiación solar en la superficie terrestre. Este valor, correspondiente al caso más desfavorable, sólo representa un 0.969875% de la radiación que incide en la atmósfera terrestre.

Si bien el calentamiento global tiene un efecto positivo sobre el efecto albedo en la cantidad de radiación que llega a la superficie, y por tanto, la generación de energía fotovoltaica, este es despreciable frente a otros factores, por lo que su efecto no será considerado en análisis posteriores.

##Gemelos digitales Un gemelo digital es una representación virtual de un objeto, sistema o proceso físico que permite la simulación, análisis y monitoreo en tiempo real. En el contexto de la energía solar fotovoltaica y los estudios sobre el impacto del cambio climático, los gemelos digitales pueden jugar un papel crucial. Permiten la creación de modelos precisos de plantas solares, que pueden ser utilizados para optimizar el rendimiento y la eficiencia de estos sistemas bajo diversas condiciones ambientales.

Aplicaciones de los gemelos digitales para la optimización de paneles solares

Los gemelos digitales pueden monitorear en tiempo real el rendimiento de las células fotovoltaicas y los módulos solares. Esto incluye la medición de la eficiencia, la producción de energía y la temperatura de las

células. Permiten la simulación de diferentes escenarios climáticos y condiciones ambientales para prever cómo variaciones en la temperatura, radiación solar y albedo afectan la producción de energía.

En el análisis realizado se menciona que la temperatura afecta significativamente la eficiencia de las células fotovoltaicas. Un gemelo digital puede simular el impacto de diferentes temperaturas en el rendimiento del sistema fotovoltaico, ayudando a identificar las condiciones óptimas de operación. Además, puede simular el uso de sistemas de refrigeración, como ventiladores o bombas de refrigerante, y evaluar su eficacia en tiempo real, optimizando su uso para mantener la eficiencia de las células solares.

Los gemelos digitales pueden integrar datos históricos y proyectados sobre el cambio climático para simular su impacto a largo plazo en la producción de energía solar. Esto permite a los investigadores y operadores prever y mitigar los efectos negativos del calentamiento global. Pueden simular escenarios de aumento de temperaturas y cambios en la radiación solar, permitiendo la planificación de estrategias de adaptación y mitigación.

Utilizando datos sobre el albedo de las nubes, los gemelos digitales pueden simular cómo diferentes niveles de reflectividad afectan la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre y, por ende, la producción de energía fotovoltaica. Pueden ayudar a optimizar la inclinación y el seguimiento de los paneles solares para maximizar la captación de energía bajo diversas condiciones de nubosidad.

Los gemelos digitales permiten probar hipótesis sobre el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos sin necesidad de realizar costosos y largos experimentos físicos. Por ejemplo, la hipótesis sobre la sensibilidad de la generación de energía solar a los cambios climáticos puede ser validada y cuantificada mediante simulaciones precisas. Facilitan la identificación de las mejores prácticas y tecnologías para mejorar la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico solar.

3.3 Propuesta de Aplicación de un Gemelo Digital

Implementar un gemelo digital en la gestión de paneles solares puede revolucionar la forma en que se optimiza la producción de energía fotovoltaica. A continuación, se detalla una propuesta para la aplicación de un gemelo digital en este contexto.

3.3.1 Desarrollo del Modelo Digital

Crear un gemelo digital de la instalación solar que incluya datos detallados sobre la configuración física de los paneles, sus especificaciones técnicas y las condiciones ambientales locales.

Integrar sensores IoT para recopilar datos en tiempo real sobre temperatura, radiación solar, eficiencia de las células fotovoltaicas y condiciones meteorológicas.

3.3.2 Simulación y Optimización

Utilizar el gemelo digital para simular diferentes escenarios climáticos y evaluar su impacto en la producción de energía. Esto incluye la variabilidad diaria y estacional de la temperatura, radiación solar y albedo.

Simular y optimizar el ángulo de inclinación y los sistemas de seguimiento de los paneles solares para maximizar la captación de energía.

Evaluar la eficacia de diferentes sistemas de refrigeración para mantener la eficiencia de las células fotovoltaicas en regiones cálidas.

3.3.3 Monitoreo y Mantenimiento Predictivo

Implementar algoritmos de monitoreo continuo que detecten anomalías y prevean fallos en los paneles solares, permitiendo un mantenimiento predictivo que reduzca el tiempo de inactividad y los costos de reparación.

Analizar el desgaste y la degradación de los paneles a lo largo del tiempo, ajustando las estrategias de mantenimiento y operación para prolongar la vida útil de la instalación.

3.3.4 Análisis de Impacto del Cambio Climático

Simular el impacto del cambio climático a largo plazo en la producción de energía solar, ayudando a planificar adaptaciones en la infraestructura y estrategias de mitigación.

Evaluar cómo los cambios proyectados en la temperatura y la radiación solar afectarán la eficiencia y la producción de energía, permitiendo ajustes proactivos en el diseño y operación de las plantas solares.

4 Conclusiones

Este informe demuestra que la eficiencia y producción de energía solar fotovoltaica están intrínsecamente ligadas a las condiciones climáticas y, por ende, al cambio climático. Las temperaturas elevadas y las variaciones en la radiación solar, agravadas por el calentamiento global, afectan negativamente el rendimiento de las células fotovoltaicas, especialmente en regiones cálidas. Los estudios presentados subrayan la importancia de la implementación de sistemas de seguimiento solar de dos ejes y métodos de refrigeración para mitigar estos efectos y mantener la eficiencia. Asimismo, se destaca el impacto del albedo de las nubes en la radiación solar recibida en la superficie terrestre, lo que también repercute en la producción de energía fotovoltaica. En este contexto, la propuesta de utilizar gemelos digitales para optimizar el uso de los paneles solares resulta esencial. Los gemelos digitales permiten la simulación, el análisis y el monitoreo en tiempo real de los sistemas fotovoltaicos, proporcionando una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad de la producción de energía solar. Integrar gemelos digitales en la gestión y optimización de paneles solares puede mejorar significativamente la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad de la producción de energía fotovoltaica. Esta tecnología permite una gestión proactiva y precisa de las instalaciones solares, asegurando su adaptación a las condiciones cambiantes del entorno y maximizando su rendimiento a lo largo del tiempo. La implementación de gemelos digitales es una estrategia esencial para enfrentar los desafíos del cambio climático y garantizar un suministro eléctrico solar eficiente y confiable. En conclusión, la integración de gemelos digitales y la adopción de tecnologías avanzadas de seguimiento y refrigeración son estrategias clave para enfrentar los desafíos del cambio climático y asegurar un suministro eléctrico solar eficiente y confiable. La capacidad de prever y mitigar los efectos adversos del cambio climático a través de estas innovaciones es crucial para el futuro de la energía solar fotovoltaica.

5 Referencias Bibliográficas

- [1] Wang, C., & Lu, Y. (2016). Solar Photovoltaic. Savonia University of Applied Sciences, Tesis de Licenciatura.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Effects_of_climate_change
- [3] <https://science.nasa.gov/resource/graphic-temperature-vs-solar-activity/>
- [4] Al-Baghdadi, M. A. R. S., Ridha, A. A., & Al-Khayyat, A. S. (2022). Los efectos del cambio climático en la producción solar fotovoltaica en regiones cálidas. *Diagnostyka*, 23(3), 2022303. <https://doi.org/10.29354/diag/152276>
- [5] CLOUD ALBEDO EFFECT. (n.d.). <http://www.theweatherprediction.com/habyhints3/758/>
- [6] Stephens, G. L. (1996). How much solar radiation do clouds absorb? *Science*, 271(5252), 1131–1133. <https://doi.org/10.1126/science.271.5252.1131>
- [7] Han, Q., Rossow, W. B., Chou, J., & Welch, R. M. (1998). Global Survey of the Relationships of Cloud Albedo and Liquid Water Path with Droplet Size Using ISCCP. *Journal of Climate*, 11(7), 1516–1528. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011)
- [8] NASA. (n.d.). Clouds & radiation fact sheet. NASA. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Clouds>
- [9] Chen, T., Rossow, W. B., & Zhang, Y. (2000). Radiative Effects of Cloud-Type Variations. *Journal of Climate*, 13(1), 264-286. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0264:REOCTV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0264:REOCTV>2.0.CO;2)
- [10] Tselioudis, G., Rossow, W. B., & Rind, D. (1992). Global Patterns of Cloud Optical Thickness Variation with Temperature. *Journal of Climate*, 5(12), 1484-1495. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1992\)005<1484:GPOCOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1992)005<1484:GPOCOT>2.0.CO;2)
- [11] Mendoza, V., Pazos, M., Garduño, R., & Mendoza, B. (2021, October 28). Thermodynamics of climate change between cloud cover, atmospheric temperature and humidity. *Nature News*. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-00555-5>

6 Apéndice de imágenes

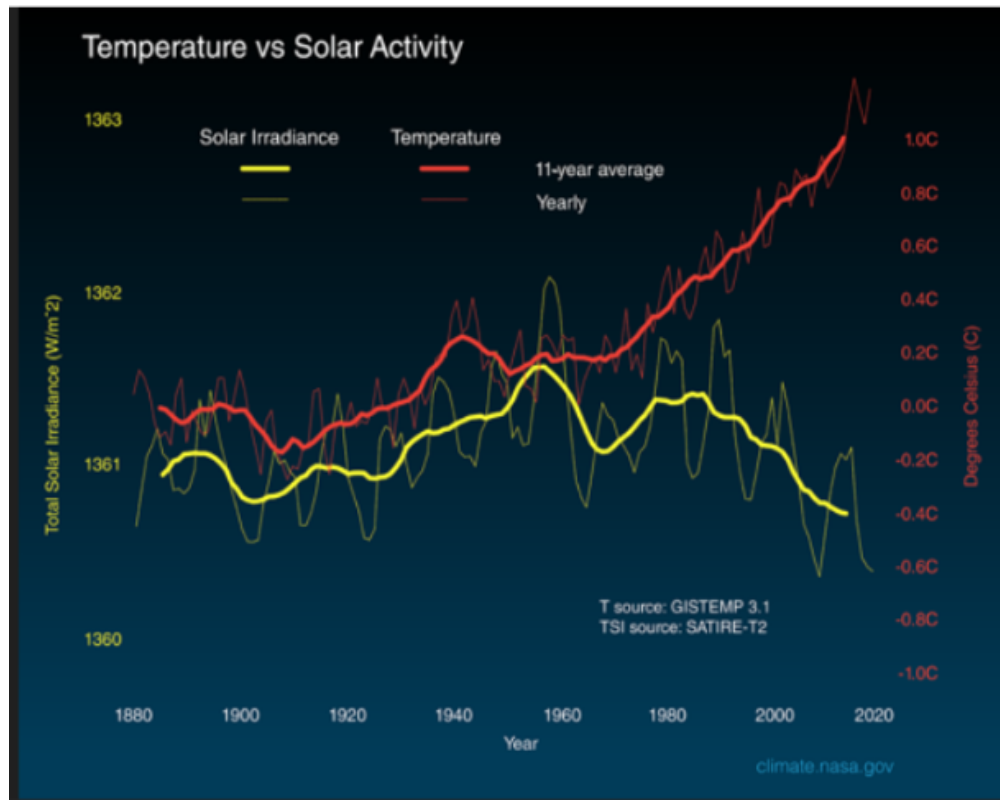


Figure 1: Gráfico de cambios en la temperatura global de la superficie y la energía solar recibida por la Tierra

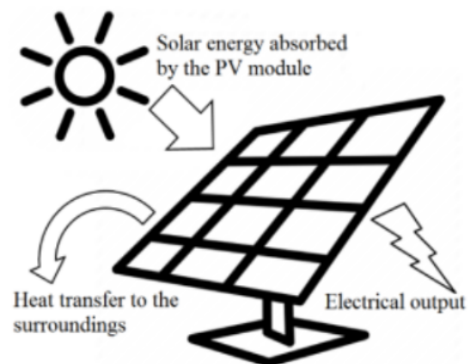


Figure 2: Esquema representativo

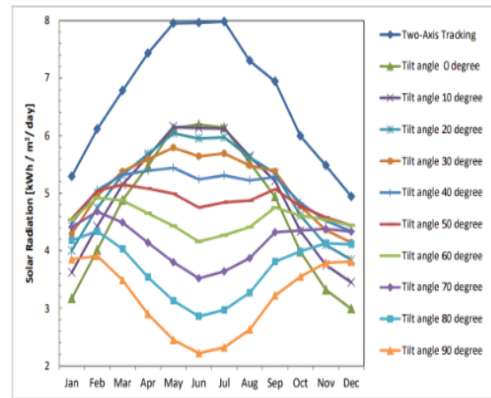


Figure 3: Daily solar radiation for diferent tilt angles and two-axis tracking at Najaf city, Iraq

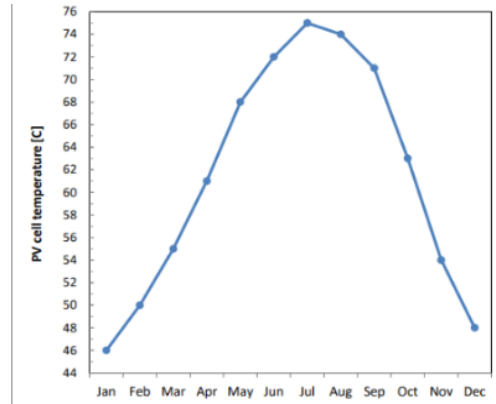


Figure 4: Monthly average PV cell temperature

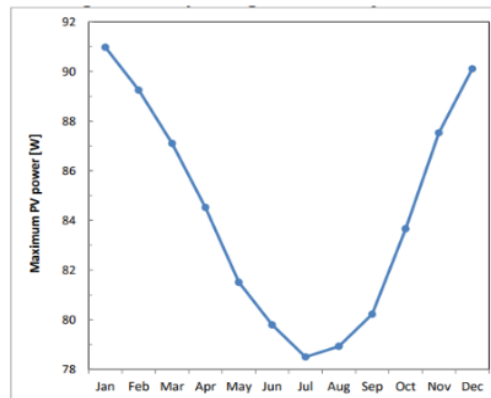


Figure 5: Monthly average maximum PV power

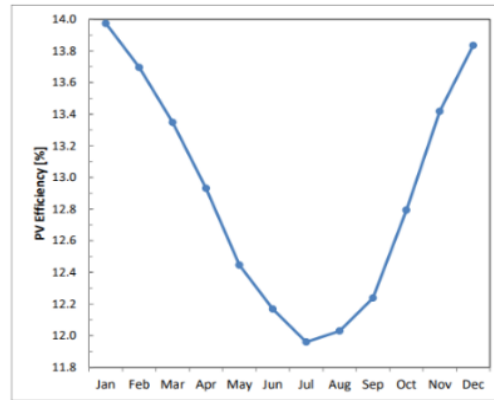


Figure 6: Monthly average PV efficiency

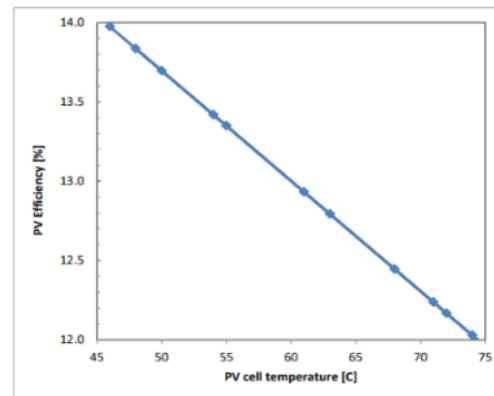


Figure 7: The changes in the PV efficiency with PV cell temperature



Figure 8: Nubes Stratocumulus



Figure 9: Nubes Cirrus

TABLE 2. Global annual mean full sky cloud-induced radiative flux changes in W m^{-2} at the surface, at TOA, and in-atmosphere. The names of three most abundant cloud types are shown in bold.

Cloud type	Surface			TOA			Atmosphere		
	SW	LW	TL	SW	LW	TL	SW	LW	TL
Cirrus	-3.6	1.1	-2.5	-4.2	5.5	1.3	-0.6	4.4	3.8
Cirrostratus	-7.2	1.7	-5.5	-7.9	5.5	-2.4	-0.7	3.8	3.1
Deep convective	-5.8	0.7	-5.1	-6.2	2.9	-3.3	-0.4	2.2	1.8
Altostratus	-3.1	2.2	-0.9	-3.2	1.5	-1.7	-0.1	-0.7	-0.8
Altostratus	-8.2	3.6	-4.6	-8.3	2.0	-6.3	-0.1	-1.6	-1.7
Nimbostratus	-3.4	1.3	-2.1	-3.4	0.7	-2.7	0.0	-0.6	-0.6
Cumulus	-5.5	5.3	-0.2	-5.2	0.6	-4.6	0.3	-4.7	-4.4
Stratocumulus	-13.2	7.3	-5.9	-12.7	1.2	-11.5	0.5	-6.1	-5.6
Stratus	-2.6	1.2	-1.4	-2.4	0.2	-2.2	0.2	-1.0	-0.8
Sum (true)	-52.6	24.4	-28.2	-53.5	20.1	-33.4	-0.9	-4.3	-5.2

Figure 10: Global annual mean full sky cloud-induced radiative flux changes in W m^{-2} at the surface, at TOA, and in-atmosphere. The names of three most abundant cloud types are shown in bold

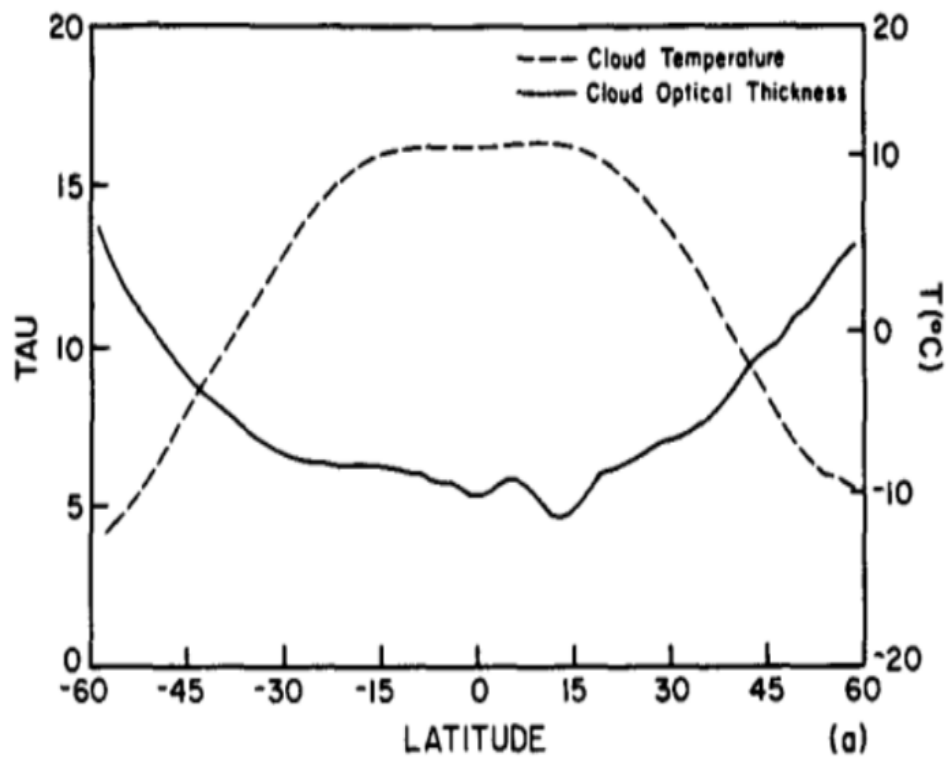


Figure 11: Relación entre temperatura y densidad de las nubes