

## 1.3 Cómo afecta la temperatura, la orientación y la inclinación

### Introducción

El desempeño real de un sistema fotovoltaico no depende únicamente de la potencia nominal de los paneles. Factores ambientales y geométricos como la **temperatura del módulo**, la **orientación (azimut)** y la **inclinación** influyen de forma directa en la energía que el sistema puede producir a lo largo del tiempo.

Comprender estos efectos permite tomar decisiones de diseño más acertadas y explicar al cliente por qué ciertos compromisos son razonables desde un punto de vista técnico y económico.

---

### 1.3.1 Temperatura del módulo

Una pregunta clave para iniciar este tema es: **¿Qué ocurre con la potencia del panel cuando aumenta su temperatura?**

La respuesta se resume en una regla práctica fundamental del diseño fotovoltaico:

**“A mayor temperatura del módulo, menor voltaje y menor potencia.”**

#### Fundamento técnico

Cuando la temperatura de una celda fotovoltaica aumenta:

- El **voltaje de operación ( $V_{mp}$ )** disminuye.
- La **eficiencia del módulo** se reduce.
- La corriente puede aumentar ligeramente, pero no lo suficiente para compensar la caída de voltaje.

El efecto neto es una **reducción de la potencia de salida**.

En condiciones reales de operación, especialmente en climas cálidos, un panel fotovoltaico puede alcanzar fácilmente **temperaturas de 45 a 60 °C**, muy por encima de los **25 °C** bajo los cuales se especifica su potencia nominal (STC).

Esto explica por qué un sistema raramente entrega en campo la potencia exacta indicada en la ficha técnica.

## Efecto de la altura sobre el desempeño

Aquí surge otra pregunta interesante: **¿Qué ocurre con la potencia del panel a mayor altura sobre el nivel del mar?**

A mayor altitud:

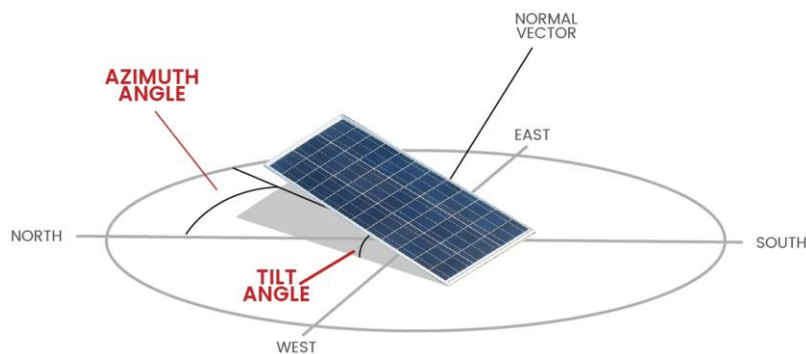
- Existe **mayor irradiación solar**, debido a una atmósfera más delgada.
- Generalmente hay **menores temperaturas ambientales**.

Ambos factores juegan a favor del desempeño del panel, lo que explica por qué sistemas instalados en zonas altas pueden presentar rendimientos superiores, aun usando los mismos módulos.

---

### 1.3.2 Orientación (azimut)

La **orientación**, también llamada **azimut**, describe hacia dónde apunta el frente del panel en el plano horizontal.



Si un panel estuviera completamente paralelo al piso, girarlo en el eje vertical no tendría un impacto relevante. Sin embargo, en la práctica, **la mayoría de las instalaciones sí permiten elegir la orientación**, y esta decisión es clave para maximizar la captación solar.



En el diseño, esta orientación suele analizarse mediante modelos 3D en software como Revit o SketchUp.

### ¿Hacia dónde conviene orientar un panel?

La respuesta depende del **hemisferio**:

- En el **hemisferio norte**, la orientación ideal es **hacia el sur**.
- En el **hemisferio sur**, la orientación ideal es **hacia el norte**.

Cuando se menciona una orientación de **0° hacia el sur**, se refiere a que el frente del panel está alineado directamente hacia el ecuador terrestre, maximizando la captación solar a lo largo del día.

### ¿Qué ocurre si desviamos el panel hacia el este u oeste?

Las desviaciones hacia el **este** u **oeste** modifican la producción total. Sin embargo, **no inutilizan el sistema**. Estas orientaciones pueden ser útiles cuando el cliente desea priorizar la producción en la mañana o en la tarde. Una orientación hacia el este prioriza el aprovechamiento de la energía solar durante la mañana, mientras que hacia el oeste durante la tarde (Después del cenit solar).

---

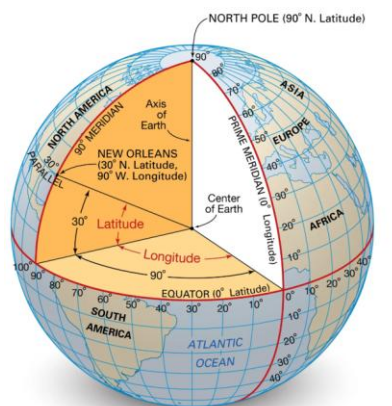
### 1.3.3 Inclinación del panel

La **inclinación** es el ángulo que forma el panel respecto a la horizontal. Junto con la orientación, define cómo inciden los rayos solares sobre la superficie del módulo.

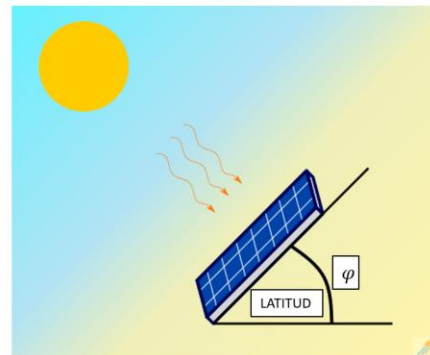
#### Regla base

El **ángulo medio anual del sol** respecto al horizonte es aproximadamente igual a la **latitud del sitio**. Por ello, una regla ampliamente utilizada es:

- **Ángulo de inclinación  $\approx$  latitud del lugar**

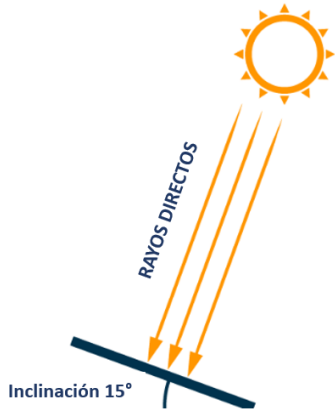


© Encyclopædia Britannica, Inc.

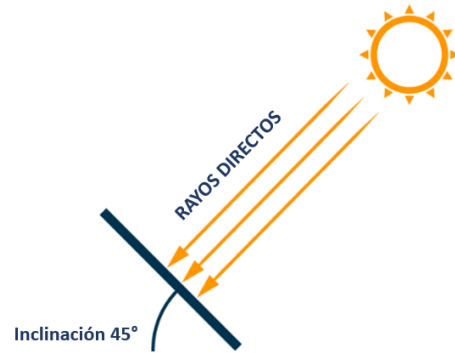


A partir de esta base:

- En **verano** se puede restar **10 a 15°** a la latitud.
- En **invierno** se puede sumar **10 a 15°** a la latitud.



**VERANO**



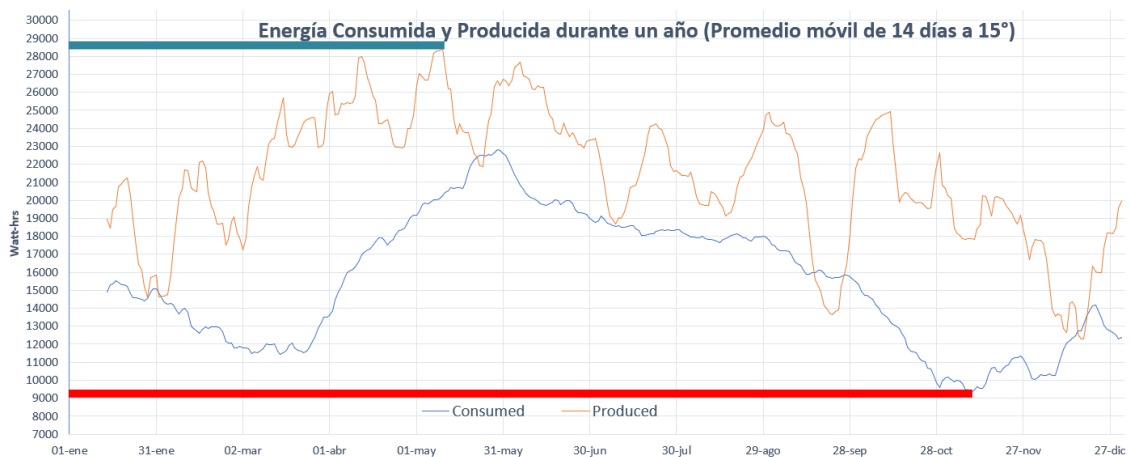
**INVIERNO**

Esto lleva a una pregunta lógica: **¿Significa esto que debemos estar cambiando la inclinación varias veces al año?**

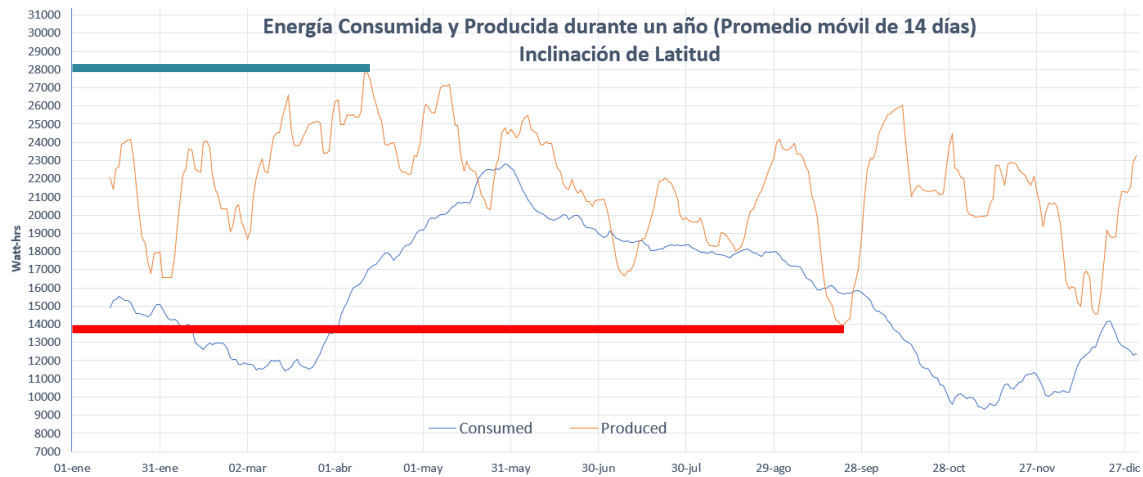
En la práctica, la respuesta es **no necesariamente**. La inclinación **no afecta de forma drástica la producción anual total**, sino la **distribución de la energía a lo largo del año**.

Ejemplo conceptual usando datos meteorológicos de Chihuahua, México:

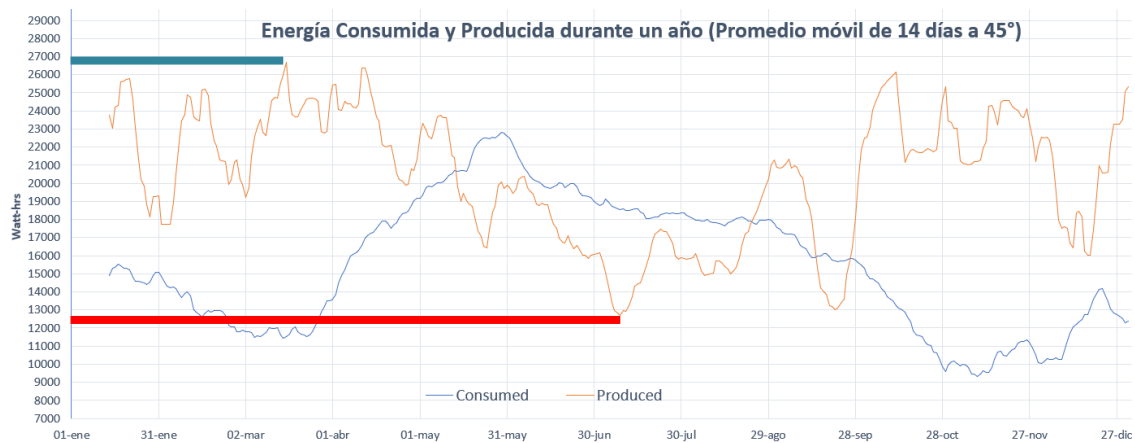
- Panel inclinado **15° hacia el sur** (favoreciendo verano): Producción anual  $\approx$  **8,300 kWh/año**



- Panel inclinado a la **latitud del sitio 28°**: Producción anual  $\approx$  **8,361 kWh/año**



- Panel inclinado **45°** (favoreciendo invierno): Producción anual  $\approx$  **8,227 kWh/año**



Como pueden ver, la variación anual es **muy pequeña**. En todos los casos se aprovecha prácticamente la misma cantidad de energía solar; lo que cambia es **en qué época del año se aprovecha más energía**.

La línea azul indica los picos de producción y la línea roja indica los puntos más bajos de producción. Puedes ver que estos varían según la inclinación. La meta para el cliente es colocar los picos de producción justo donde tiene el mayor consumo durante el año.

Quizá en este caso, a nuestro cliente le convenga más aprovechar la energía solar durante el verano que es cuando tiene los puntos más altos de consumo.

Así que la pregunta clave no es cuál inclinación es “correcta”, sino:

**¿En qué parte del año quiere el cliente aprovechar mejor la energía?**

- Inclinación para Verano: reducir consumo por aire acondicionado.
- Inclinación para Invierno: reducir consumo por calefacción eléctrica.
- Inclinación cercana a la latitud: Uniforme todo el año

De cualquier manera, la mejor manera de elegir la inclinación óptima de un sistema es mediante un registro meteorológico acoplado con una estimación de consumo/producción.

Como nota final, estas consideraciones de inclinación son aplicables para techos planos. En caso de que se trate de un techo con inclinación entonces allí no se tienen muchas opciones respecto al ángulo.

### Opciones adicionales

- **Sistemas con seguimiento solar:** Ajustan automáticamente la inclinación como un girasol. Son mucho más caros y no suelen recomendarse en instalaciones residenciales o comerciales pequeñas.
- **Ajuste manual de inclinación:** Posible si el cliente está dispuesto a realizar ajustes periódicos.

### Efecto de girar el panel hacia el este u oeste

Cuando el panel se gira respecto al eje vertical:

- Orientarlo **30° hacia el este** puede reducir la producción anual (por ejemplo, a ~7,600 kWh/año).
- Orientarlo directamente hacia el sur puede maximizarla (~8,361 kWh/año).
- En algunos sitios, orientarlo **hacia el oeste** puede incluso aumentar la producción anual, dependiendo del patrón local de irradiación (por ejemplo, ~8,780 kWh/año).

Esto demuestra que **cada ubicación es un caso particular**, y que el uso de software de simulación aporta un valor real al diseño.

---

### Conclusiones

Como regla de dedo para la mayoría de los proyectos:

- **Orientación:** 0° hacia el sur (en hemisferio norte), salvo que el cliente prefiera una franja horaria específica.
  - **Inclinación:** Igual a la latitud del sitio, salvo preferencias estacionales (Latitud - 10 a 15° → verano, Latitud + 10 a 15° → invierno)

