

AppSolar — Modelos de pronóstico de generación

Generado el 2026-10-01

Referencia técnica de los 4 modelos finales de pronóstico usados en la app: qué predicen, cómo se calculan y en qué se diferencian.

Base física común

Los 4 modelos parten de la misma base física. Se calcula la posición solar real (cenit θ_z y azimut γ) hora a hora, a partir de la declinación solar del día (fórmula de Cooper, 1969: $\delta = 23.45^\circ \cdot \sin(360/365 \cdot (284+n))$, con n el día del año) y la latitud del sistema. Con esa posición y la inclinación β /orientación del panel se obtiene el ángulo de incidencia real θ sobre el plano del panel (fórmula estándar de superficie inclinada, Duffie & Beckman), que se recorta a 0 cuando el sol queda detrás del panel.

La energía base horaria (S) surge de aplicar el **Performance Ratio** (PR) — el producto de las eficiencias de inversor, regulador, batería, cables y la eficiencia por temperatura de celda — sobre la radiación horaria (GHI) de Open-Meteo:

$$S = P_{\text{mod}} \cdot \text{Cantidad} \cdot \text{PR} \cdot \text{GHI} / 1000 \quad T_c = T_{\text{amb}} + (\text{TONC} - 20) \cdot G / 800$$

con G la radiación real de esa hora (a diferencia de la planilla de referencia original, que usa un valor fijo de 1000 W/m² de condiciones estándar de ensayo — STC — en el denominador; con radiación real el salto de temperatura sobre la ambiente varía según cuánto sol hubo de verdad esa hora). La eficiencia por temperatura resultante es $\eta_{\text{temp}} = 1 + (T_c - 25) \cdot \text{coef_temp} / 100$, con coef_temp el coeficiente de temperatura del panel (típicamente negativo: a más calor, menos eficiencia).

El ángulo de incidencia θ NO se aplica directo sobre S (cambio de 2026-08): multiplicar el GHI completo por $\cos \theta$ penaliza dos veces la componente directa de la radiación — una vez de forma implícita, porque el GHI ya trae esa componente reducida por el coseno del cenit solar, y otra vez explícita, por el propio $\cos \theta$ — sin sustento físico para esa doble reducción (confirmado con datos reales de este proyecto: ningún modelo de calibración que reincorpora $\cos \theta$, ni como exponente ni como factor lineal, supera a la transposición geométrica completa de Hay-Davies/Perez). En su lugar, $\cos \theta$ se sigue calculando cada hora y queda disponible como variable de calibración (ver «Teórica Corregida» más abajo) en vez de aplicarse de entrada.

Cooper, W. 1969. "The Absorption of Radiation in Solar Stills." Solar Energy 12(3). · Duffie, J.A. & Beckman, W.A. "Solar Engineering of Thermal Processes."

Factor Global

Multiplica la energía base S (ver arriba) por un único factor de escala fijo:

$$\text{factor} = \Sigma \text{ real} / \Sigma S$$

sumado sobre todos los días del historial con generación real registrada, excluyendo los días con saturación de batería o inversor apagado confirmados o detectados (esos días no reflejan el potencial solar real, así que calibrar contra ellos ensuciaría el factor). El pronóstico de un día nuevo es simplemente $\text{factor} \times S(\text{día})$.

Es el modelo con menos parámetros libres de los 4 (uno solo) y sirve como referencia: los demás candidatos solo se recomiendan por sobre Factor Global si le ganan por un margen mínimo, evaluado con **RMSE leave-one-out** (LOO) — por cada día del historial, el factor se reajusta usando únicamente los demás $n-1$

días y se predice el que quedó afuera, repitiendo esto para cada día. Es la métrica honesta de qué tan bien generalizaría el modelo a un día que nunca vio (a diferencia del RMSE in-sample, que siempre se ve mejor de lo real porque premia el sobreajuste) — ver [Evaluación de modelos](#) para el veredicto actual y el valor exacto del factor.

Teórica Corregida

Deja que el ángulo de incidencia θ (ver arriba) sea una **variable de calibración** en vez de aplicarse fijo. Además de S (la energía base, sin corrección de orientación), se calcula D — la misma energía CON $\cos \theta$ aplicado hora a hora, $D = S \cdot \cos \theta$ — y se ajustan dos coeficientes (a , b) por regresión lineal simple (mínimos cuadrados, sin término independiente) sobre el historial:

$$\text{real} \approx a \cdot S + b \cdot D$$

El pronóstico de un día nuevo es $a \cdot S(\text{día}) + b \cdot D(\text{día})$. Con 2 parámetros libres (en vez de 1) necesita más días de historial que Factor Global para no sobreajustar, y se evalúa con el mismo RMSE leave-one-out — ver [Evaluación de modelos](#) para el veredicto actual y los valores exactos de (a , b).

A diferencia de Hay-Davies/Perez (que resuelven la geometría con datos reales de irradiancia directa/difusa), este modelo sigue usando solo el GHI de Open-Meteo, y no es una fórmula publicada con nombre propio — es un ajuste empírico de este proyecto, motivado por el hallazgo de arriba, no un método estándar de la bibliografía de ingeniería fotovoltaica.

POA Hay-Davies

Modelo de **Hay & Davies (1980)**: en vez de aplicar la orientación del panel como un factor más sobre la radiación horizontal medida (GHI), transpone por separado las tres componentes de la radiación — directa (DNI), difusa del cielo (DHI) y reflejada del suelo (albedo) — al plano inclinado del panel, antes de calcular la energía.

La componente directa se proyecta con el coseno real del ángulo de incidencia ($\text{DNI} \cdot \cos \theta$). La componente difusa se separa en una parte isotrópica (repartida parejo por todo el cielo) y una circumsolar (concentrada alrededor del disco solar, más intensa cuanto más "directa" es la luz del día), ponderadas por el **índice de anisotropía** $A = \text{DNI} / G_{\text{on}}$, donde G_{on} es la irradiancia extraterrestre normal para esa fecha (fórmula de Spencer, 1971 — la variación de la intensidad del sol según la órbita terrestre a lo largo del año). La componente reflejada del suelo usa un albedo de 0.2 (superficie natural/pasto) por defecto.

$$\text{POA} = \text{DNI} \cdot \cos \theta + \text{DHI} \cdot (1-A) \cdot (1+\cos \beta)/2 + \text{DHI} \cdot A \cdot (\cos \theta / \cos \theta_z) + \text{GHI} \cdot \rho \cdot (1-\cos \beta)/2$$

con β la inclinación del panel y ρ el albedo. El resultado (POA, la irradiancia efectiva sobre el plano del panel) reemplaza a GHI en el cálculo de energía — el pico horario sigue la orientación real del panel en vez de quedar anclado al mediodía solar. Igual que Factor Global, se calibra con un único factor fijo sobre la energía POA total del día (no hora a hora) y se evalúa con el mismo RMSE leave-one-out.

Corrige la geometría de la irradiancia, pero no garantiza que el pico coincida exactamente con la potencia real: recorte del inversor, batería llena, sombreado parcial o corte de exportación también desplazan el pico real y esta transposición no los captura. Solo está disponible para los días con datos de irradiancia directa/difusa guardados.

Hay, J.E. & Davies, J.A. 1980. "Calculation of the solar radiation incident on an inclined surface." Proc. First Canadian Solar Radiation Data Workshop. · fórmula y nombres de variables verificados contra pvlib.irradiance.haydavies.

Modelo de **Perez et al. (1990)**, set de coeficientes "All Sites Composite" — el más fino de los tres modelos de transposición que ofrece la app. En vez de un único índice de anisotropía (como Hay-Davies), clasifica el estado del cielo en 8 tramos empíricos de **claridad** (ϵ , cuánto domina la luz directa sobre la difusa) y usa coeficientes tabulados por tramo, además del **brillo** (Δ , cuánta difusa hay en relación a la extraterrestre), para repartir la radiación difusa entre tres componentes: una isotrópica, una circumsolar y una de *brillo de horizonte* — esta última es la que Hay-Davies no modela (una franja de cielo más brillante cerca del horizonte, típica de días despejados).

Para el brillo Δ se usa además la **masa de aire relativa** (fórmula de Kasten & Young, 1989: la distancia que atraviesa la luz solar por la atmósfera respecto de la distancia vertical, mayor cuanto más bajo está el sol), que ajusta cuánto se atenúa/dispersa la luz según la altura solar.

$$\Delta = \text{DHI} \cdot m / G_{\text{on}} \quad \epsilon = [(\text{DHI} + \text{DNI}) / \text{DHI} + \kappa \theta_z^3] / (1 + \kappa \theta_z^3)$$

con m la masa de aire relativa. Igual que Hay-Davies, se calibra con un único factor fijo sobre la energía POA total del día y se evalúa con RMSE leave-one-out. También requiere datos de irradiancia directa/difusa guardados, y tampoco captura recortes del inversor, batería llena o sombreado — solo corrige la geometría de la irradiancia incidente.

Perez, R. et al. 1990. "Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance." Solar Energy 44(5), 271-289. · fórmula y coeficientes verificados contra [pvlib.irradiance.perez](https://pvlabs.github.io/pvlib-python/).