

# Estimación de la insolación potencial a partir del modelo digital de elevaciones

ANGEL M. FELICÍSIMO

E-mail: amfeli@unex.es

Grupo de Investigación en Conservación, Área de Biología Animal, Universidad de Extremadura

## Introducción

La modelización de la radiación solar incidente necesita datos auxiliares sobre la trayectoria solar, por lo se presentarán las ecuaciones básicas que la definen. Posteriormente se tratará el problema del ocultamiento topográfico, dada la gran importancia de las sombras en las zonas de fuerte relieve. La generalización del análisis anterior permitirá estimar valores de insolación directa en unidades de tiempo.

## La trayectoria solar

Los parámetros que definen la trayectoria del sol constituyen datos externos imprescindibles para llevar a cabo la modelización de la radiación solar. La localización aparente <sup>1</sup> del sol depende de una serie de parámetros de los cuales los más importantes son:

- la **latitud** del punto problema, que puede variar en un rango de  $\pm 90^\circ$  entre los polos geográficos N y S
- la **declinación solar**, variable según la época del año en un rango de  $\pm 23\frac{1}{2}^\circ$  entre los solsticios de verano e invierno
- el **ángulo horario**, dependiente de la hora del día y variable en un círculo de  $360^\circ$  centrado en el punto analizado

La localización del sol se suele expresar en coordenadas esféricas: acimut,  $\varphi$  y elevación angular sobre el horizonte  $\theta$ , cuyas expresiones de cálculo son las siguientes:

$$\text{sen } \theta = (\text{sen } D \cdot \cos L) + (\cos D \cdot \text{sen } L \cdot \cos H)$$

$$\cos \varphi = \frac{(\cos L \cdot \text{sen } D) - (\cos D \cdot \text{sen } L \cdot \cos H)}{\cos \theta}$$

donde  $D$  representa la declinación solar,  $L$  la latitud geográfica del punto problema —positiva en el hemisferio Norte y negativa en el Sur— y  $H$  el ángulo horario.

La declinación solar para una determinada época del año puede determinarse a partir de tablas o, aproximadamente, mediante expresiones empíricas. Una de las más simples es:

$$D = 23.5 \cdot \text{sen}[0.986 \cdot (284 + d)]$$

donde  $d$  es el ordinal del día del año, comenzando el 1 de enero y todas las magnitudes se expresan en grados sexagesimales.

Refiriéndonos al hemisferio Norte, el ángulo horario suele tomarse como cero en el mediodía, cuando el acimut solar es de  $180^\circ$  y, por tanto, el sol está situado al Sur. Los ángulos son negativos hacia el Este y positivos hacia el Oeste, con intervalos de  $15^\circ$  por hora: por ejemplo, a falta de dos horas para el mediodía, el ángulo horario es de  $-30^\circ$ .

A partir de las expresiones anteriores es posible obtener las horas de salida y puesta del sol —cambio del signo de la altura sobre el horizonte—, así como el número de horas de sol del día —intervalo en el cual los valores de altura sobre el horizonte son positivos—.

---

<sup>1</sup> el término **localización aparente** hace referencia a la situación de sol en un sistema de coordenadas local, centrado en un punto problema con una referenciación geográfica concreta.

## Análisis del ocultamiento topográfico

La existencia de zonas de sombra es una variable de gran interés en regiones montañosas, donde el relieve puede ser el factor determinante más importante del clima local. El que un punto esté en sombra puede deberse a dos circunstancias:

- **autoocultamiento**, que se produce cuando el vector normal a la superficie forma un ángulo superior a los  $90^\circ$  con el vector solar, como sería el caso, por ejemplo, de una ladera orientada al Norte, con pendiente de  $45^\circ$ , cuando el sol ilumina desde el Sur, elevado solamente  $30^\circ$  sobre el horizonte
- **ocultamiento por el relieve** circundante, que se produce cuando la topografía interrumpe la línea visual desde el Sol hasta el punto analizado

La existencia de autoocultamiento se deduce directamente del valor del ángulo de incidencia. El segundo caso es algo más complejo ya que se produce cuando el entorno de un punto proyecta una sombra sobre él, para unas posiciones determinadas del sol. Sin embargo, el problema es equivalente al planteado para la identificación de cuencas visuales. La diferencia reside, en este caso, en que la situación del foco —Sol— está muy alejada y se define en términos de acimut y altura sobre el horizonte. Por este motivo, los mismos algoritmos aplicados en el análisis de visibilidad pueden resolver el problema del sombreado para una posición solar determinada con leves modificaciones.

## Análisis de la insolación potencial

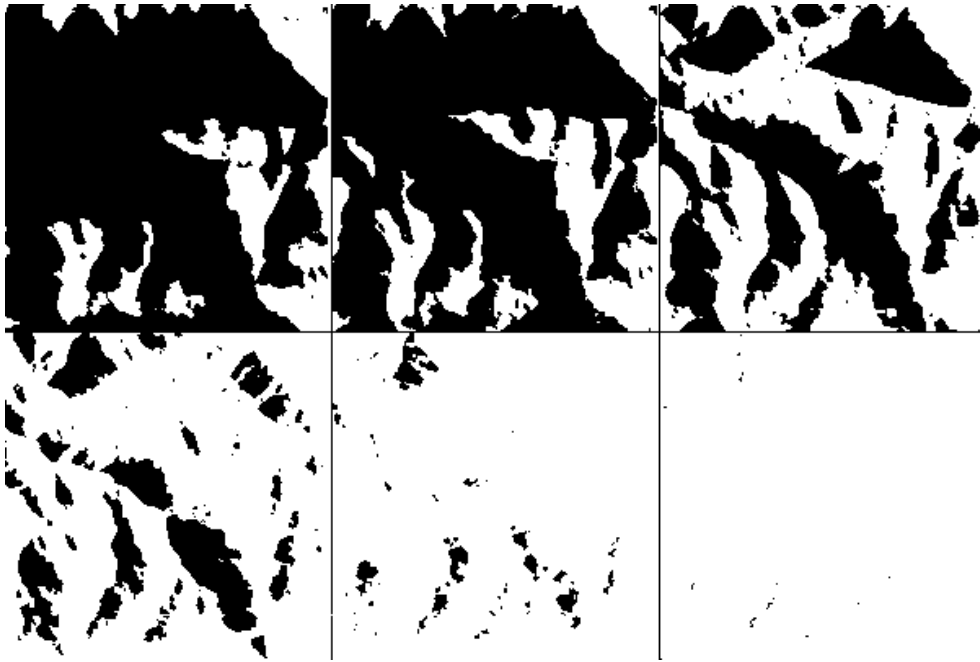
Se define la **insolación potencial** en un punto como el tiempo máximo que ese lugar puede estar sometido a la radiación solar directa en ausencia de nubosidad.

En un ámbito geográfico limitado con condiciones climáticas similares, puede aceptarse que las diferencias de insolación entre dos puntos en un mismo día del año están exclusivamente condicionadas por el relieve y, más concretamente, por el ocultamiento topográfico, por lo que su análisis puede abordarse a partir del modelo digital de elevaciones. Se asume, en este caso, que las condiciones de nubosidad son similares en toda la zona de estudio, hipótesis que puede aceptarse para áreas de una extensión moderada.

Suponiendo que se desee conocer la insolación en un punto del MDE a lo largo de un día concreto del año, el método de análisis se plantea como sigue:

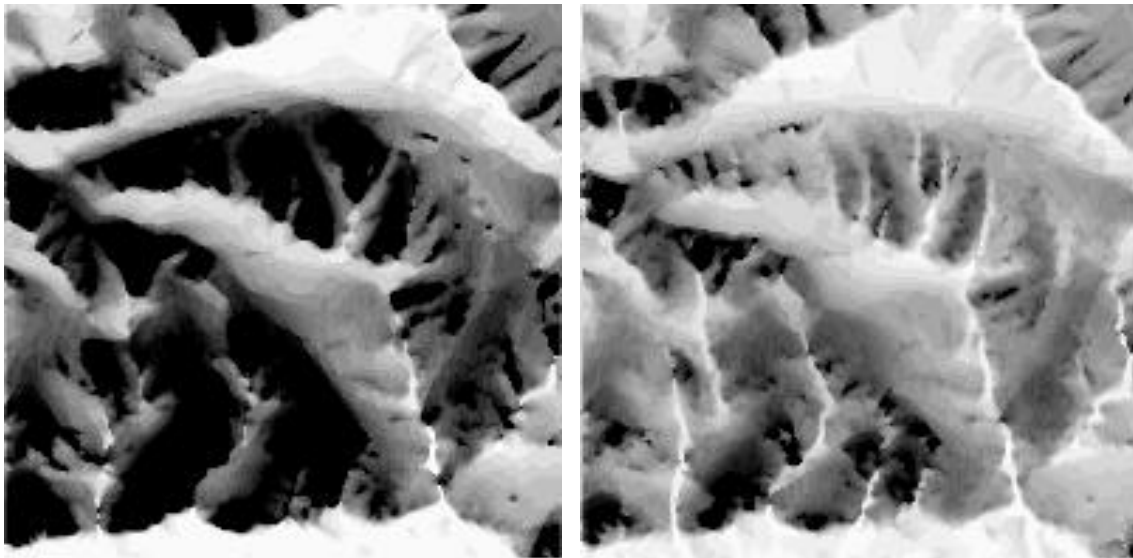
1. Se especifican los parámetros básicos: **latitud** del lugar y **declinación** solar y se asigna un valor de insolación inicial igual a cero.
2. Se generan las posiciones del sol a lo largo del día a **intervalos** adecuados de tiempo,  $t$ , por ejemplo 30 min. El resultado es un conjunto de  $n$  posiciones solares definidas por pares de valores de acimut y elevación angular.
3. Se descartan las posiciones con elevación angular negativa —periodo nocturno—.
4. Para cada posición solar se calcula la presencia o ausencia de sombras topográficas en cada celda del modelo; el resultado es un conjunto de  $n$  matrices binarias.
5. Se suman las  $n$  matrices binarias: el resultado es el modelo de insolación con una resolución temporal de  $t$  minutos.

Cada matriz binaria contiene la información de incidencia u ocultamiento para una posición solar concreta. Los valores positivos representan un intervalo de insolación de  $t$  minutos —el intervalo elegido en el paso 2—. Al sumar la totalidad de matrices se obtiene un modelo con valores entre 0 y  $n$ . Una celda con valor nulo no recibe insolación directa en ningún momento del día y una celda con valor  $k$  recibe  $k \cdot t$  minutos de insolación diaria.



Ejemplo de variación del sombreado desde el amanecer hasta las 11 a.m. para el solsticio de verano.

El proceso es de ejecución muy simple y puede ofrecer modelos de insolación con una precisión elevada. Para la definición de las características de insolación de un lugar deben estimarse los modelos de insolación representativos de un conjunto suficiente de periodos anuales. En efecto, al menos en latitudes medias o altas los contrastes estacionales son fuertes y contienen una información ambiental que no puede despreciarse. Por este motivo no es suficiente caracterizar la insolación para un valor medio anual, al menos en zonas no ecuatoriales.



Modelos de insolación correspondientes al solsticio de invierno (izquierda, declinación =  $-23^\circ$ ) y tres meses después (derecha, declinación =  $-12^\circ$ )