

# Análisis de la insolación terrestre investigada por Kepler

Jesús Ruiz Felipe

Profesor Física del Instituto de Enseñanza Media "Pérez Pastor". Tobarra (Albacete)

Bajo el título CAUSAS DE CALOR EN VERANO Y FRÍO EN INVIERNO, los matemáticos, físicos y astrónomos de los siglos XVII y XVIII trataron de cuantificar el acopio de calor en una jornada, sobre la superficie de un punto del planeta caracterizado por su latitud. Cuatro son las causas que computan los científicos, según relata Buffon en su HISTORIA NATURAL: la inclinación de la luz, por la diferente altura del Sol sobre el horizonte, la intensidad del rayo según se atenúe en la atmósfera al pasar por un camino más o menos oblicuo, las distintas distancias de la Tierra al Sol en invierno y en verano y la desigual duración de los días. A lo largo de esos años, la distinta concepción y comprensión acerca de la luz fue moldeando unas hipótesis sobre la influencia de cada factor en la insolación.

Kepler abrió el camino estableciendo una proporcionalidad directa entre los factores que influyen en la radiación diaria: cuatro veces la mayor altura del Sol, el doble de horas de luz, un camino tres veces más pequeño para los rayos a través de la atmósfera. Total, 24 veces superior la radiación diurna en el estío que en el invierno. Heydon modificó algo los análisis de Kepler, con poco éxito visto en retrospectiva. Halley propuso un modelo mecánico (al cual Kepler alude indirectamente), con un comportamiento de la luz semejante al de una partícula cuyo efecto sobre la Tierra es, al igual que la componente normal de un choque, proporcional al seno de incidencia. Desarrolló una acertada fórmula, pero sin introducir los efectos atenuantes de la envoltura gaseosa y la distancia al sol (fenómenos ondulatorios). Su modelo teórico contrastaba profundamente con la realidad climática. Estos son los detalles del trabajo científico del gran astrónomo alemán.

LOS primeros cálculos de la variación en el calor generado por los rayos solares en la Tierra aparecieron por primera vez en un tratado astrológico de 1601 (DE FUNDAMENTIS ASTROLOGIAE CERTIORIBUS) redactado por el astrónomo Johannes Kepler, quien desde su cargo de matemático imperial y astrónomo de la corte del emperador Rodolfo II, intentó averiguar cómo cambiaba la radiación solar en Praga de una estación a otra.

Kepler encontró en el Sol una fuente de luz y calor (como Galileo a su manera), un centro y corazón del Mundo y una capacidad para impulsar los planetas; adjudica a este astro poder divino de generador de vida y movimiento y le postula como morada de Dios. El Sol es el centro dinámico del universo. Irradia un gran poder siendo la fuente y la sede de la fuerza

que hace que todos los planetas giren alrededor de él, teoría en la que subyace una herencia aristotélica, por la que toda circulación dispone de un motor que la mantiene la marcha.

Kepler supone que el Sol es incandescente y calienta la Tierra por su propia radiación. Esta aparente obviedad contradice, sin embargo, las enseñanzas de Aristóteles, que atribuía el calor que sentimos del Sol a su rápido tránsito sobre la Tierra argumentando que el lugar celeste no era ni frío ni cálido, sino una sustancia etérea diferente de cualquier ente conocido en la Tierra.

*Acerca de la generación del calor que produce el Sol, (...) que el movimiento puede desintegrar el aire e inflamarlo, de modo que muchas veces las (cosas) que se desplazan parecen fundirse. Así, pues, la traslación del Sol es por sí sola suficiente para producir la generación del ardor y el calor. (ARISTÓTELES, METEOROLÓGICOS, LIBRO I, 20-30)*

Los astrónomos partidarios de Copérnico afirmaron que la Tierra no era sino un planeta más. Sostuvieron que el Sol, no la Tierra, estaba en reposo en el centro (con matices) del universo. No existía un rápido movimiento solar que calentara la Tierra. Kepler propuso que el Sol es incandescente y su radiación caldea la Tierra.

## Cálculos numéricos de Kepler.

En los albores del XVII se empezaba a creer que el calor era una cantidad mensurable. Kepler trató de calcular las fluctuaciones anuales en la cantidad de irradiación que recibe la Tierra del Sol. La invención del termómetro permitió la medida de los cambios de temperatura, a pesar de que las observaciones comparativas y regulares tardarían en llegar.

La irradiación solar incidente varía con las estaciones, debido a que los rayos solares llegan a la superficie de la Tierra con distinta inclinación según la época del año. Estos fenómenos obedecen a que el eje de rotación de la Tierra forma un ángulo de  $23^{\circ} 27'$  con la perpendicular al plano de la eclíptica, que contiene la órbita terrestre. Este ángulo no varía durante la órbita, pero el ángulo comprendido por la recta que une los centros de la Tierra y el Sol y el plano ecuatorial varía cada día. Este ángulo denominado declinación solar da cuenta del distinto calentamiento de la Tierra al variar su situación en la órbita y la duración del día y la noche a lo largo del año, lo que se acentúa en latitudes altas. En el hemisferio norte la mayor oblicuidad de los rayos solares es el 21 de diciembre, entrada del invierno, y la menor el 21 de junio, comienzo del verano. Kepler, en su tratado DE FUNDAMENTIS ASTROLOGIAE CERTIORIBUS, postula que

tres son las causas de la variación del flujo de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra:

**Primero**, La duración del día (Tesis 6). *En Praga Bohemia, la elevación del polo es de 50° 5' 45'', la inclinación de la eclíptica es de 23° 31' 30'', según la midió el recientemente desaparecido Brabe. Así en invierno, el Sol, que es nuestra fuente de calor, es visible sobre el horizonte solamente 7 horas y 49 minutos. En verano permanece en el horizonte y calienta 16 horas y 22 minutos*

Las horas de luz en una jornada se calculan en una latitud determinada en función de la declinación del sol y la latitud:

$$\text{Horas de luz} = 12 + \frac{24}{\pi} \text{asen}(\text{tg}(\text{latitud})\text{tg}(\text{declinación}))$$

En Praga, la duración del día más largo sería de 16 horas y 10 minutos, que es lo que duraría la noche en el solsticio de invierno. En el solsticio de invierno, la luz incide verticalmente a los 23° 27' S, perpendicular al Trópico de Capricornio y por tanto, en el hemisferio norte, la noche es mucho más larga que el día. Además, una incidencia de luz muy oblicua hace que la insolación sea muy débil.

**Segundo**, la altura del Sol al mediodía (Tesis 9). *Otra razón y más importante por la que el sol calienta más cuando está alto que cuando está bajo es que cuando el Sol está bajo se encuentra con nuestro horizonte oblicua y débilmente, mientras que cuando está alto se encuentra con él más en ángulo recto y más intensamente. Nadie hasta ahora ha podido explicar por qué el rayo inmaterial del Sol debería mostrar la misma propiedad que encontramos en los cuerpos materiales densos cuando están en colisión uno con otro.*

La última afirmación indica un desconocimiento sobre la naturaleza de la luz. La energía radiante recibida por una superficie horizontal depende de la verticalidad con que llega la luz solar. La mayor concentración de energía se recibe cuando los rayos caen perpendicularmente y la más débil cuando el Sol está cerca del horizonte y los rayos vienen muy oblicuos. Según la luz entra más inclinada, la misma energía se reparte en un área más extensa. Esta será una de las argumentaciones de Heydon. Halley, por su parte propone la misma dependencia con la oblicuidad, pero por motivos completamente distintos, es decir, asignándole a la luz un carácter corpuscular.

(Tesis 10). *Si puesto que en Praga el Sol estaba en verano más o menos cuatro veces más alto que en invierno, se sigue de este factor junto con el anterior, que del calor que baja del Sol a la región elemental que del calor que irradia a los elementos en el día más largo del verano no queda más de una octava parte en el día más corto.*

**Tercero**: La longitud del camino de los rayos de Sol en la atmósfera. La radiación solar disminuye cuando el Sol se encuentra muy bajo porque para alcanzar la Tierra atraviesa un espesor atmosférico mayor que cuando el Sol está elevado sobre el horizonte. El aire en la atmósfera absorbe parte de la luz solar. Cuanto más camino recorren las ondas solares en la envoltura gaseosa, mayor cantidad de energía se absorbe y

menor cantidad de energía alcanza la superficie de la Tierra. La longitud de este tránsito es función de la inclinación de los rayos.

(Tesis 11). *Ni siquiera experimentamos toda esta octava parte del calor que permanece del calor restante en invierno. Porque en invierno el Sol no está muy por encima de nuestro horizonte y a causa de su oblicuidad tropieza con más parte de nuestra atmósfera densa. Ahora supongamos que la superficie de aire transparente que refracta (refringit Solares radium) el rayo del Sol, está, medida perpendicularmente, a una distancia de una milla alemana. Por tanto en verano el rayo del Sol encuentra un espesor de una y un noveno millas alemanas, frente a tres y un tercio en invierno. Así pues en invierno el rayo del Sol es por esta razón tres veces más débil; y tomando juntamente los 3 factores, apenas una vigésimo cuarta parte del calor del verano permanece en invierno.*

Kepler considera que no hay decaimiento de la luz hasta que ésta entra en la atmósfera.

*No es cierto que los influjos celestes tengan necesidad de materia alguna por la que se trasladen hasta nosotros, pues es falso aquello de Aristóteles que el aire sea necesario para transportar hasta el ojo la sensación de cuerpo solar, como demostré en la óptica. Más bien al contrario, cuanta menos materia hay en el camino intermedio, otro tanto resulta impedida la luz en su trayecto. (MYSTERIUM COSMOGRAPHICUM)*

Kepler calcula un camino óptico el triple que el otro para cada uno de los solsticios; encuentra un espesor de una y un noveno millas alemanas, frente a tres y un tercio en invierno (*Solari igitur radio aestate objicietur crassities unius milliariae et normae partes, hyeme trium et tertiae*) y un debilitamiento en la misma proporción lineal.

*Porque entre las doctrina que considero más establecidas por los físicos más eminentes se cuenta esta: los límites establecidos por el aire terminan en la cima de las montañas más altas, o incluso antes. (SOMNIUM).*

Además, Kepler no consideró que la densidad de la atmósfera no es constante, sino que se enrarece con la altura. Aunque los cálculos son algo groseros, teniendo en cuenta el espesor de la atmósfera como una milla alemana (7420 m) el radio de la Tierra y la inclinación de los caminos ópticos (4 veces uno sobre otro), la comparación de distancias es del orden del triple (aunque algo mayor): altura del sol (en los solsticios) = (90°-latitud de Praga, 50° 5' 45'') +/- 23° 31' 30" ≈ 62.5° y 16.5° la cuarta parte uno del otro. Teniendo en cuenta lo recogido en MYSTERIUM COSMOGRAPHICUM, capítulo XX:

*Y por eso ahora con mucho más derecho corresponden al Sol aquellos nobles epítetos de Corazón del Mundo, Rey, Emperador de las estrellas...*

*Por tanto, supongamos, y es cosa bien plausible, que el Sol proporciona movimiento en la misma razón en que proporciona luz. Pero la proporción en que la luz propagada se debilita desde el centro, la dan los ópticos. Pues cuanta luz hay en un círculo pequeño, ese mismo tanto de luz o de rayos solares hay también en uno grande. Por tanto, al estar más concentrada en el pequeño y más atenuada*

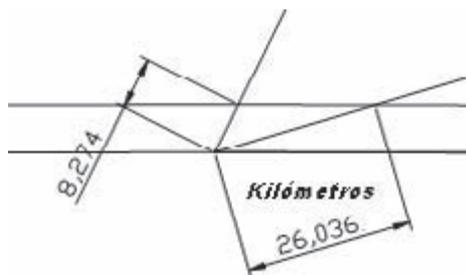


Figura 1

Espesor de la atmósfera, en millas alemanas  $1+1/9$  y  $3+3+1/2$

*en el grande, la medida de esta atenuación habrá de buscarse mediante la propia relación de los círculos, y esto tanto en el caso de la luz como en el caso de la fuerza motriz.*

Se deduce que el debilitamiento de la luz, según Kepler en esta primera época de su trabajo, es debido simplemente a una atenuación en proporción al camino realizado por el rayo. Es decir, si la luz atraviesa un espesor en invierno que es 3 veces el camino óptico de los rayos en verano, la luz se atenuará esa razón. No es el mismo fenómeno, sin embargo, tropezar con la atmósfera (absorción) que una atenuación en relación al tamaño de los círculos, y no decrecen en la misma linealidad que propone Kepler.

En realidad, la atenuación debido a un frente de ondas esférico (aunque el frente de ondas solares se considera plano, debido a la gran distancia a la que se encuentra el Sol) está en dependencia con la superficie del frente de ondas, es decir se atenúa como  $r^2$ , pero Kepler carecía entonces de esta relación. Más tarde Kepler postuló este comportamiento para la luz, mientras que propuso una anisotropía en la emanación gravitatoria del Sol, limitando la dirección de propagación al plano de la eclíptica. Cada una de estas variables, a su vez, contribuye en el total de calor recibido.

Para encontrar la variación anual en esta cantidad, multiplica el producto de esos factores y los compara. A causa de la duración de los días, la Tierra recibe el doble de radiación solar en verano que en invierno (Tesis 6). A la vez, simplemente por el aumento de la altura solar en el verano, el calor del Sol es cuadruplicado (Tesis 9). Por último, de las radiaciones que entran en la atmósfera, tres veces más alcanzan la Tierra en verano que en invierno (Tesis 11). Multiplicando los factores  $2 \times 4 \times 3$ , Kepler concluye que, en la latitud de la ciudad de Praga, los rayos solares generan 24 veces más calor en un día en verano que en invierno.

En realidad, la duración del día, la altura del sol y el camino de los rayos en la atmósfera es función de la latitud y la declinación del Sol (la época del año) que son los parámetros que manejará Halley en su ecuación de una forma más sofisticada, aplicando sólo los dos primeros parámetros, pero sin aprovechar al máximo el potencial matemático de su época, es decir, sin recurrir al cálculo integral.

Kepler esgrimirá otra variable en el calentamiento de la Tierra, el tiempo que tarda un cuerpo denso en calentarse, y el calor disipado. Debido al desplazamiento aparente del Sol sobre el horizonte, la temperatura del aire varía en cada momento del

día, por la facilidad del planeta en calentarse y refrigerarse. Las temperaturas mínimas se alcanzan al amanecer. Las máximas se alcanzan dos o tres horas después del mediodía, momento en que los rayos caen lo más vertical posible a la superficie de la Tierra.

*(Tesis 13 y 14). Por eso es más caliente la segunda hora que la duodécima (aunque el Sol comienza a ponerse), por eso es más caliente septiembre y octubre que marzo y febrero, aunque la duración del día sea la misma.*

Paradójicamente, Kepler, que posteriormente descubriría que la órbita de un planeta es elíptica, y que el Sol, la fuente del movimiento, está en uno de los focos de esta elipse (HARMONICE MUNDI, 1619 LIBRO V) no tuvo en cuenta entonces la distancia del Sol a la Tierra. La insolación terrestre varía también con la distancia entre el planeta y su estrella. La órbita terrestre es una elipse, por tanto la distancia de la Tierra al Sol evoluciona con la época del año. En el hemisferio norte, la Tierra se sitúa más cerca del Sol en enero (en el perihelio) y en julio se ubica en la posición más lejana (afelio). Este efecto procura al hemisferio norte inviernos más moderados y veranos más fríos que los que sufriría si la órbita fuese circular. No obstante la órbita terrestre alrededor del Sol es casi circular con una excentricidad muy tenue. La excentricidad de la órbita terrestre es de 0.0167 muy pequeña frente a la de Marte 0.09 (Kepler fue afortunado en disponer de las observaciones de un planeta con una elipse tan acusada). Por tanto las variaciones en la insolación absorbida a lo largo de las estaciones no se exceden por esta causa más del siete por ciento.

Al final, el tratado se desvirtúa al pasar de unos aspectos generales a predicciones tan particulares que son imposibles de fundamentar sin conjeturas:

*(Tesis 53). Digo esto por la experiencia, que ofrece amplio testimonio de que una configuración de estos planetas trae conmoción. Desde luego pueden traer incluso truenos. Del 11 al 23 de febrero no habrá auténtica calma. O nevará intensamente, si el 11 se vuelve frío porque Saturno y el Sol están en cuadratura, o habrá fuertes lluvias, si, como estoy más inclinado a creer el calor dura.*

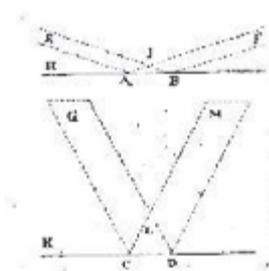


Figura 2

Reflexión solar sobre la superficie de la tierra. AN ASTROLOGICAL DISCOURSE.

Christopher Heydon amplió los cálculos de Kepler en su obra AN ASTROLOGICAL DISCOURSE, escrito en 1608.

Cuatro son las razones que esgrime para justificar las diferencias de luz y calor en verano e invierno. La primera, calculada de Kepler, es el número de horas que está el Sol sobre el horizonte. Como Heydon se centra en la honorable ciudad de Londres y Kepler en Praga que se encuentra a una latitud cercana, la diferencia de luz solar es cuestión de minutos y por tanto se mantiene en el doble esta relación.

La segunda razón, obedece a la reflexión de la radiación sobre la superficie terrestre. Debido a la mayor oblicuidad de

los rayos en invierno (ver Fig. 2), el triángulo AIB es menor que el formado por CLD. Dentro de la extensión de estos triángulos formados por la unión de los rayos coincide la radiación incidente y reflejada. Por tanto la proporción de calor estará en función de las áreas en 6 a 1. Heydon supone que la reflexión es total, cuando en realidad sólo un 5% aproximadamente de los rayos se reflejan. Además, con los datos que ofrece de la elevación del sol, 61° 59' 30'' frente a 14° 56' 30'' la relación entre las áreas de los triángulos (que es función de la tangente) es de 7 a 1. Al igual que Kepler multiplica los factores, 2 x 6, 12 veces más calor en verano.

Heydon desglosa la oblicuidad de los rayos en dos factores. Por una parte el efecto de la reflexión de los rayos, pero como tercera razón, argumenta que el número de rayos que incide en una superficie horizontal es mayor cuanto más vertical cae en el rayo. Será tanto mayor, siguiendo a Kepler, como la diferencia de alturas de los rayos en las diferentes estaciones, es decir 4 a

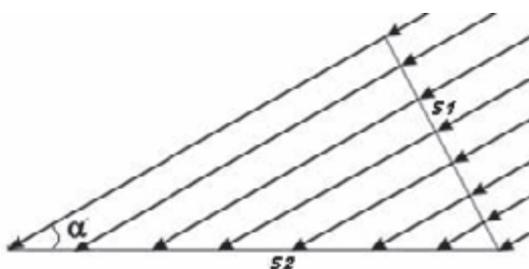


Figura 3

La superficie de incidencia de los rayos solares depende del seno de la altura del sol.

1 al tratar latitudes parecidas. Este efecto podría explicarse del siguiente modo: El flujo de radiación en S2 es la misma que en S1 pero la irradiación (igual al flujo de radiación/superficie) es  $S1/S2 = \text{sen } \alpha$  menor. O bien a igual superficie, menor cantidad de rayos. Con lo cual la relación estaría en función del seno (más próxima a tres que a cuatro), como propondría Halley atendiendo a un modelo mecánico de la luz. Por último, los caminos ópticos tropiezan con cuatro y 12 millas de atmósfera. Multiplicando los factores  $2 \times 6 \times 4 \times 3 = 144$  veces más calor en verano que en invierno.

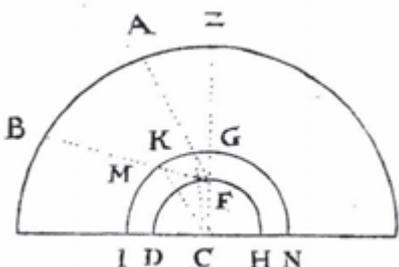


Figura 4

Espesor travesado por el rayo solar.  
AN ASTROLOGICAL DISCOURSE

### Conclusiones y comparación de resultados

La insolación diaria en un punto de la superficie de la Tierra, sin tener en cuenta el efecto atenuante de la atmósfera, depende de tres factores (suponiendo la constante solar de esta guisa: constante). En primer lugar de la distancia al Sol de la Tierra, que completa una órbita elíptica, lo que supone que en el perihelio, en enero, la Tierra recoja un 7 por ciento más de energía que cuando circula por el afelio (julio), debido a que la radiación se atenúa como  $r^2$ . En segundo lugar, del número de horas de Sol, que es una función de la estación y la ubicación del punto donde se mide, es decir de la latitud y la declinación del Sol. El tercer factor sería la altura del Sol, también una función de la declinación y la latitud. Por tanto la insolación en un punto de la Tierra, será una función de la latitud,  $\Phi$ , declinación,  $\delta$ , ángulo horario  $\omega$  y en menor medida  $r$  (si se considera la atenuación atmosférica habría que considerar también la altitud).

La insolación es proporcional a  $r^{-2}$  y al seno de la altura del Sol, ya que cuanto más inclinados estén los rayos, barrerán un área mayor de la Tierra, por tanto:

$$I = G_{\omega} \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \text{sen} h = E_0 \text{sen} h$$

donde  $\text{sen } h = \cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \text{sen} \Phi \text{sen} \delta$

Para calcular el acopio de calor en una jornada, como pretendieron Kepler y Heydon suponemos que la energía por unidad de superficie que recibe un punto de la Tierra en un intervalo  $dt$  es:  $dEnergía = E_0 \text{sen} h dt$ . Sumando todos los momentos desde el amanecer hasta el ocaso:

$$H^d = \int_{-\omega}^{\omega} E_0 \text{sen} h dt = \int_{-\omega}^{\omega} E_0 (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \text{sen} \phi \text{sen} \delta) dt = 2 \int_0^{\omega} E_0 (\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \text{sen} \phi \text{sen} \delta) d\omega$$

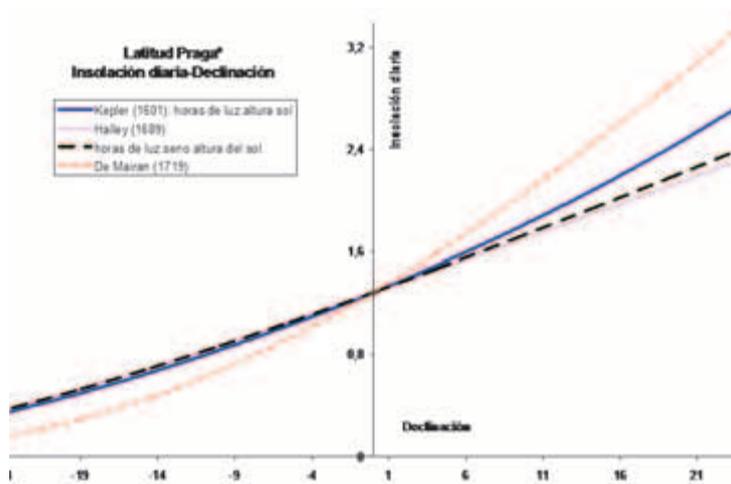
Ya que la duración angular del día con luz es  $2\omega$ , amaneciendo en  $-\omega$  y con el ocaso en  $\omega$ , donde  $\cos \omega = -\text{tg } \Phi \text{ tg } \delta$ . Por tanto la energía recibida es igual a

$$2 G_{\omega} \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \cdot (\cos \phi \cos \delta \text{sen} \omega + \omega \text{sen} \phi \text{sen} \delta)$$

siendo la expresión entre paréntesis, la relación que obtuvo Halley años después, por métodos mecánicos y sin recurrir al cálculo. Para comparar los datos de Halley con los actuales escribimos la ecuación como:

$$\text{Radiación diaria} = \frac{1440}{\pi} G_{\omega} \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \cdot (\cos \phi \cos \delta \text{sen} \omega + \omega \text{sen} \phi \text{sen} \delta)$$

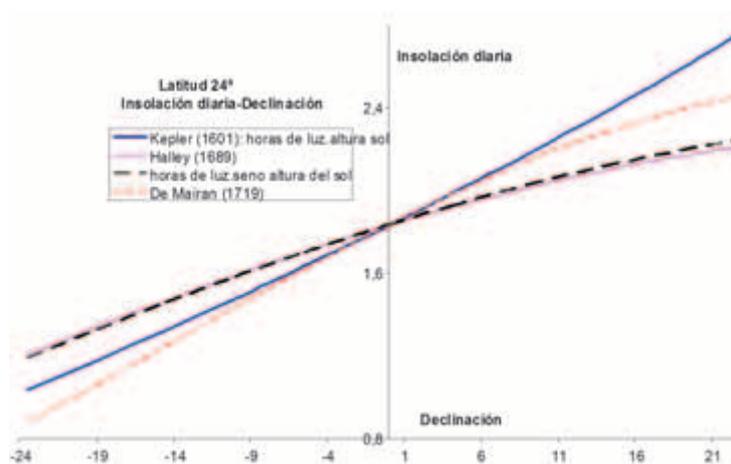
donde  $G_{\omega} = 0.082 \text{ MJ } m^{-2} \text{ min}^{-1} = 1,967 \text{ cal } cm^{-2} \text{ min}^{-1}$   
y hay 1440 min/día.



**Figura 5:** Acopio de energía solar en una jornada (unidades arbitrarias de energía) frente a la declinación (grados sexagesimales). La gráfica muestra la relación del acopio de calor en una jornada en diferentes estaciones. La latitud es la de la ciudad de Praga.

Esta ecuación depende de tres variables, latitud, declinación y (aunque con poco peso) distancia del sol. Sin embargo los científicos del XVII y XVIII factorizaban la radiación recibida en un día en dos múltiplos (sin tener en cuenta la absorción de los rayos por la atmósfera), la inclinación de los rayos y las horas de sol. En el gráfico de la Fig.5, se observa que para la ciudad de Praga (Londres y París poseen parecidas latitudes), la energía recibida en una jornada (sin atenuación atmosférica) es más o menos proporcional al producto de las horas de sol por la altura del sol (línea azul) siendo el doble el número de horas de luz en el solsticio del estío que en el de invierno, mientras el sol se eleva 4 veces más en verano que en invierno, por tanto, Kepler calculó que esos factores multiplicarían por ocho (7,7 siendo más precisos) la irradiación en una jornada de verano con respecto a la de invierno, errando no por mucho ya que en realidad es un factor de 6,1.

Lo cierto es que esta aproximación sólo es relativamente válida en un paralelo parecido al de Praga o superior. Halley sostenía que la dependencia de la radiación recibida era función del seno del ángulo de incidencia de los rayos en cada instante.



**Figura 6:** Acopio de energía solar en una jornada (unidades arbitrarias de energía) frente a la declinación (grados sexagesimales). La gráfica muestra la relación del acopio de calor en una jornada en diferentes estaciones. La latitud es distinta de la ciudad de Praga.

La expresión  $(\cos\Phi.\cos\delta.\sin\omega + \omega.\sin\Phi.\sin\delta)$  puede desarrollarse en serie (cuanto menor sea la declinación, mejor) como *constante seno b ω*, por tanto existe una linealidad entre la radiación solar recibida, con el seno de la altura máxima del Sol y el número de horas de luz, válida para cualquier latitud.

En la representación de la Fig 6, se advierte que a una latitud sensiblemente inferior a la de París, Londres y Praga, la única gráfica que aguanta la aproximación a los cálculos de Halley es el producto de las horas de sol por el seno de la altura del sol, mientras que el resto de las funciones pierden validez, refutando las hipótesis de Kepler y Heydon. Kepler tampoco hizo mención a la distancia variable del Sol a la Tierra, a pesar de que fue el descubridor de las órbitas elípticas, e hizo uso de la ley de atenuación de la intensidad lumínica dependiente de  $r^2$ , cálculos posteriores a la publicación de esta obra en cuestión.

Kepler y Heydon aplicaron sus métodos analítico-deductivos. Más adelante la climatología se basó en la recolección de medidas. El descubrimiento de que el termómetro no medía el calor cuantitativamente sino cualitativamente, que tantas confusiones provocó, produjo un notable avance. Conceptos, leyes y teorías aplicadas a una rama de eminente contenido práctico, donde la recogida sistemática de datos y el nacimiento de las sociedades meteorológicas, impulsaron esta antigua rama hacia nuevos métodos.

## Bibliografía

**Johannes Kepler**, 1601. DE FUNDAMENTIS ASTROLOGIAE CERTIORIBUS. Opera Omnia, Vol. 1:

**Johannes Kepler**, 1596. MISTERIUM COSMOGRAPHICUM (El secreto del universo). Traducción, introducción y notas de Eloy Rada García. Barcelona: Altaya.

**Johannes Kepler**, 1637. SOMNIUM, OPUS POSTHUMUM DE ASTRONOMIA LUNARI. Publicado por Sumptibus haeredum Authoris.

**Johannes Kepler**, 1619. HARMONICI MUNDI, LIBRI V. Publicado por Sumptibus Godofredi Tampachi bib l. Excudebat Ioannis Planchus.

**Christopher Heydon**, 1603. AN ASTROLOGICAL DISCOURSE WITH MATHEMATICAL DEMONSTRATIONS, PROVING THE POWERFUL AND HARMONICAL INFLUENCE OF THE PLANETS AND FIXED STARS UPON ELEMENTARY BODIES, IN JUSTIFICATION OF THE VALIDITY OF ASTROLOGY. TOGETHER WITH AN ASTROLOGICAL JUDGMENT UPON THE GREAT CONJUNCTION OF SATURN & JUPITER 1., Publicado por Nicholas Fiske en 1650. (Páginas 2-13).

**Aristóteles**. METEOROLÓGICOS.. Traducción, introducción y notas de Miguel Candel. Madrid: Biblioteca Clásica Gredos.