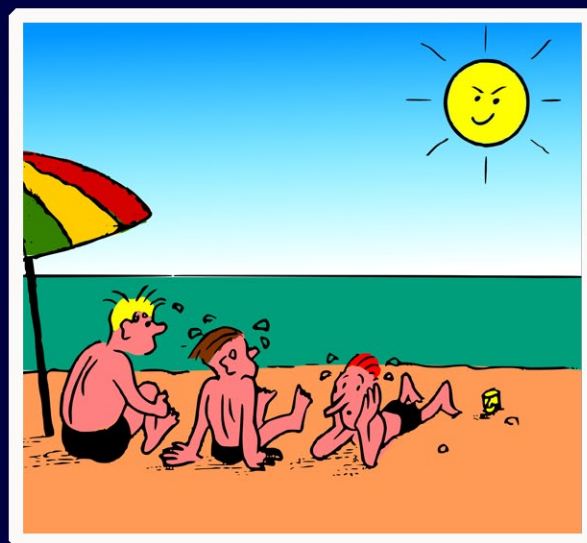


La Potencia del Sol

Julen Sarasola
Josée Sert
Morgens Winter



Publicaciones de ApEA nº 1

LA POTENCIA DEL SOL

Julen Sarasola, Josée Sert, Morgens Winter

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

No. 1 (Secundaria) - Septiembre 2001

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

Dibujo de Portada:
LeBlanc

Comité de Redacción:
Antonio Arribas
Francesc Sánchez
Ederlinda Viñuales
Xavier Valbuena

Dirección:
Rosa M. Ros (Vocal Editora de Publicaciones de ApEA)
Dept. Matemática Aplicada IV
Universidad Politécnica de Catalunya
Jordi Girona 1-3, modulo C3, 08034 Barcelona
e-mail: ros@mat.upc.es

ISBN: 84-932062-0-2
Imprime: COPIART S.A.
Villarroel, 81 – 08011 Barcelona
D.L. B -11.041/01

PRESENTACIÓN.....	7
OBJETIVOS	9
DEFINICIONES.....	11
MATERIAL	13
ACTIVIDADES.....	15
1.- Medida de la Potencia colectora del Sol.....	15
2.- Deducción de la constante solar	17
3.- Temperatura de la fotosfera	18
4.- El origen del a energia del Soll	19
COMPLEMENTOS PARA EL PROFESOR.....	23
EJERCICIOS.....	27
BIBLIOGRAFÍA	31

PRESENTACIÓN

En noviembre de 1.995 conocí al profesor danés Mogens Winther que da clases de Astronomía en secundaria, quién me metió el gusanillo de trabajar con alumnos acerca de la medición de la potencia solar, los modelos sobre el origen de dicha energía, el diseño de la estructura interna de las estrellas, la constante solar en la Tierra y finalmente el estudio de un modelo (matemático) energético para planetas que contuviera el efecto invernadero, el albedo y las posibilidades de vida tal como la conocemos.

Nada más llegar a mi instituto, el IES TXORIERRI de Derio (Bizkaia), me puse manos a la obra y con mi pequeño grupo de quince alumnos de Astronomía, nos pusimos a construir diversos colectores de energía solar, así fue como nació el Termoheliómetro. Con la inestimable ayuda de los artículos de Mogens Winter y de Josée Sert en la Newsletter de la EAAE dimos forma al proyecto, que ampliado con nuestras propias experiencias, ha dado lugar a este trabajo.

OBJETIVOS

Este pequeño proyecto supone la medición directa de la potencia solar, la posterior discusión acerca de la naturaleza de su origen, en qué lugar del astro rey se produce e incluso valorar qué parte de aquella es captada, y luego remitida al espacio, por cada unos de los astros del sistema solar.

La propuesta consiste en medir la radiación solar a nivel del mar. Puede después deducirse el origen termonuclear de la energía solar, junto con una estimación de la temperatura superficial del Sol (la fotosfera).

Se puede construir un modelo simple de clima planetario, aplicándolo para hacer demostraciones en los planetas Venus, Tierra y Marte. Además, pueden ser ilustrados los efectos globales del aumento de la polución de CO₂ y de la variabilidad solar.

Se trata, pues, de medir, durante un tiempo determinado, el aumento de temperatura que experimenta una pequeña placa metálica orientada hacia el astro rey, cuándo éste tiene sobre nuestro horizonte una altura conocida.

La frase anterior resume, pues, toda la parte experimental (medición de un incremento de temperatura, durante un tiempo determinado y a una altura del sol sobre el horizonte), el resto es bricolaje astronómico, al principio y tratamiento de datos, al final.

Conceptos considerados

Veamos cuáles son los conceptos que se manejan y discutamos a qué niveles educativos corresponden.

Conceptos cualitativos de calor y temperatura. Su diferenciación (todo ello aplicado al metal que va a absorber el calor que viene del sol). Concepto de altura de un astro sobre el horizonte. Concepto de representación gráfica (aplicado a la representación del incremento de la temperatura frente a la altura). Para un nivel de 3º ESO.

Conceptos cuantitativos de calor específico y de densidad (aplicado al metal en cuestión). Concepto cuantitativo de energía de enfriamiento (calor perdido por el sol). Para un nivel de 4º ESO.

Conceptos acerca del origen de los elementos, la tabla periódica, a partir del hidrógeno para 1º de Bachillerato.

Conceptos cualitativos de reflexión de una onda (albedo), absorción y efecto invernadero (todo ello aplicado a los planetas y satélites del sistema solar, con respecto de la energía que reciben del sol). Concepto de energía gravitatoria, para la masa del sol. Concepto de energía de fusión nuclear (del hidrógeno para originar helio) que corresponden a un nivel de Física de 2º de Bachillerato.

Conceptos de energía de reacción (combustión del hidrógeno) que corresponden a un nivel de Química de 2º de Bachillerato.

DEFINICIONES

La constante solar (tal como se define para el planeta Tierra) es la potencia captada por unidad de superficie perpendicular a los rayos de luz, en la parte superior de la atmósfera. La unidad de superficie la expresaremos en m^2 .

Fundamento de la medición

La energía captada por un cilindro de latón (ó aluminio u otro metal) puede ser determinada por calorimetría. A partir de ésta medida se puede deducir un valor para la energía captada a nivel del mar por unidad de área.

Posteriormente puede deducirse un valor para la constante solar, tanto desde la combinación de varias mediciones, ó desde una tabla-resumen que recoja la influencia de la refracción, absorción y dispersión de la luz

El valor de la constante solar calculada de ésta forma puede llevar a una estimación del poder radiante total del Sol y, utilizando la ley de Stefan, a una estimación de la temperatura de la fotosfera solar. El cilindro de latón ó aluminio absorberá tanta radiación solar como sea posible en los dominios visibles e IR y hasta puede atrapar la radiación extrema del IR remitida por el calentamiento del cilindro.

MATERIAL

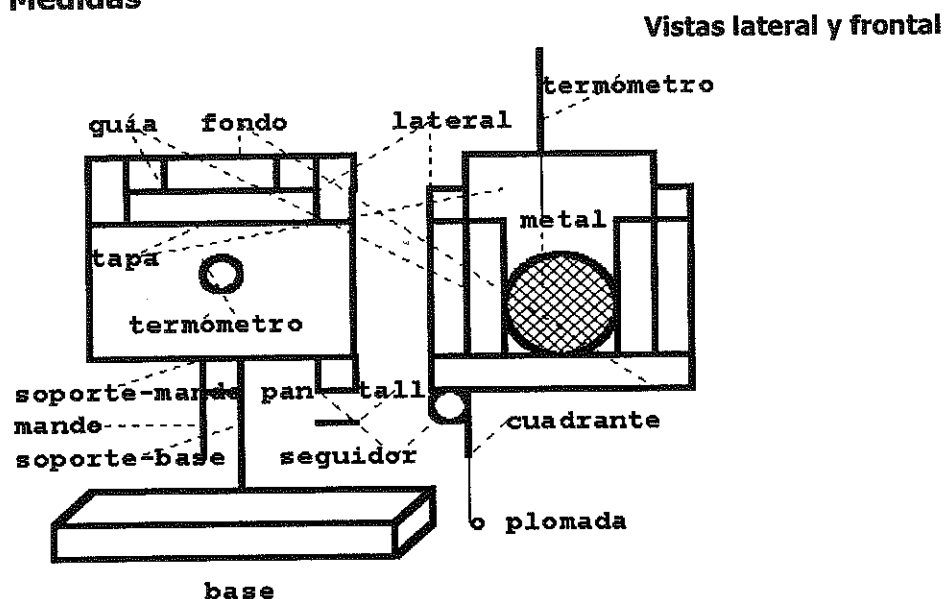
Material y Construcción

- Un cilindro de aluminio (ó latón) de 5 cm. de diámetro y de 1'5 a 2 de grueso, con un orificio taladrado a lo largo de su diámetro.
- Para alojar el metal y aislarlo térmicamente: un manguito de PVC de 5 cm. de diámetro interior (del tipo de los usados en la construcción, para tuberías). Se puede sustituir, sino se quiere utilizar PVC, por una caja de madera, tal como se indica en el dibujo.
- Una abrazadera en forma de U.
- Un tubito de PVC de corta longitud, del tipo de los usados por los electricistas.
- Un termómetro.
- Un transportador con una plomada.

Montaje del aparato (utilizando PVC):

1. Coloca el cilindro metálico dentro del manguito y prepara un agujero a través del manguito y el cilindro simultáneamente. El diámetro del orificio debe de ser igual al del termómetro.
2. Pesa el cilindro y píntalo de negro mate.
3. Pega el cilindro dentro del manguito de PVC, asegurándote que los orificios estén correctamente alineados.
4. Rellena el fondo del manguito con un trozo de espuma de poliestireno.
5. Pega el tubo de mira paralelo a la dirección del aparato, 90° con respecto al agujero del termómetro, y el transportador con su plomada (éste se usará para la medida de la altura cenital del Sol, es decir, el ángulo entre la vertical del lugar y la dirección del Sol).
6. Coloca el aparato terminado dentro de la abrazadera en forma de U.

Esquemas y Medidas



Medidas de las piezas

(Material contrachapeado de madera, unidades en centímetros).

La caja aislada:

- Base 12x11,7x1 (A)
- Fondo 7,5x11,7x1(B)
- Cierre termómetro 11,7x5x1(C) (a 2 cm. por debajo del centro, practicar un orificio para que pase el termómetro)
- 2 laterales 10x7,5x1(2xD)
- 4 guías 10x1x1 (4xE)
- tapa 9,5x12x1 (T)

Ventana transparente (cristal ó polimetacritato) 10x10x0,1

Aislante de relleno de la caja (poliexpán) 9,5x9,5x4

Pieza colectora metálica (Fe ó Al) 7 x 2,5 (practicar un agujero lateral y radial para el bulbo termométrico)

Cuadrante. (transportador) radio de 10x1

Pantalla 5x4x1

Soporte de pantalla 9x1,5x1

Tubo seguidor solar 2 x 10 (en PVC, hueco)

Mando 1 x 20

Soporte del mando. 5x3,5x3,5

Tornillo de métrica con su tuerca 0,4 x 7

Plomada bola de 2 + hilo 40 cm.

Base taco de 11x 7x28

Soporte de la base 45x2,5x2,5

Anticojera de la base 13x3x1

Clavos 50 de 2 cm, 10 de 4 cm.

ACTIVIDADES

1.-MEDIDA DE LA POTENCIA COLECTORA A NIVEL DEL MAR.

Procedimiento:

Con ayuda del tubo de mira provisto de una pantalla, ajustar el aparato hasta que el ángulo de incidencia de la luz sea perpendicular a la base plana del cilindro.



Es una buena idea refrigerar el cilindro en una nevera, una media hora antes de comenzar a usarlo.

Mientras se ajuste el aparato asegurarse que el cilindro no recibe calor.

Mide la temperatura del aire exterior, θ_1

Luego quita la tapa de poliestireno y expón el cilindro. Entonces lee la temperatura del cilindro durante varios minutos.

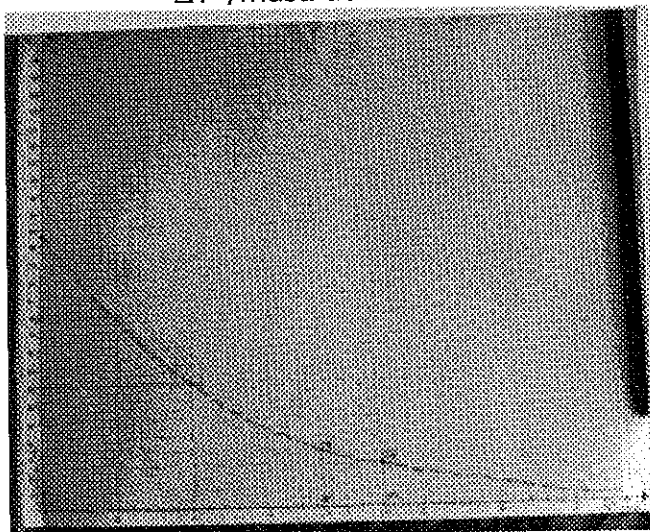
Representa tus datos en una gráfica como la adjunta. Nuestro cilindro recibirá calor del medio ambiente, si está más frío que la temperatura del aire.

Si nuestro cilindro está más caliente que θ_1 , desprenderá energía. Las mejores condiciones, en las que no existen intercambios con el exterior, se encuentran en torno a θ_1 .

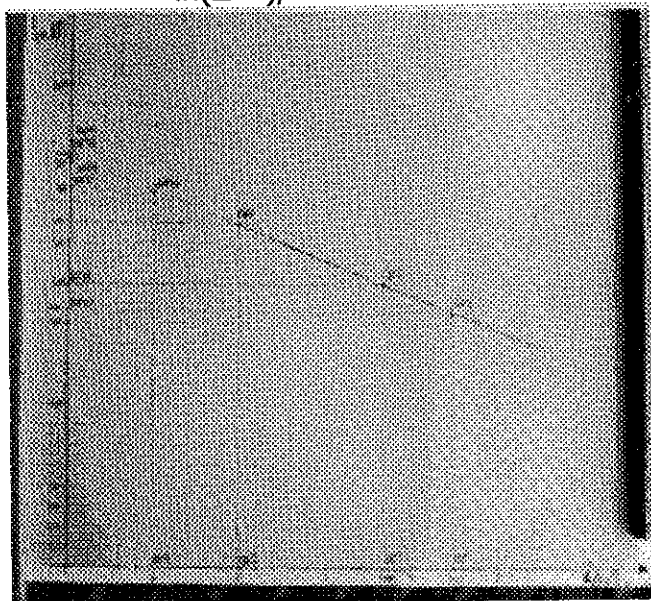
Dibuja la tangente y calcula la pendiente $\frac{\Delta\theta}{\Delta\tau}$

Finalmente, prepara una medición de la distancia cenital Z, del Sol.

Durante todo el experimento, asegurarse que el cilindro permanezca perpendicular a la dirección del Sol (sí Z cambia durante los experimentos individuales, toma el valor promedio).

ΔT^a /masa atmosférica**Registro de medidas**

- Diámetro del cilindro $2R =$
- Masa del cilindro $m =$
- Temperatura inicial $\theta_1 =$
- Temperaturas sucesivas = ----, ---, --
- Distancia cenital $Z =$

 $\ln(\Delta T^a)$ /masa atmosférica**Cálculo del poder colector del aparato**

Conocido el calor específico del latón ó del aluminio ($c = 0,38 \times 10^3 \text{ J. Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$ y $c = 0,92 \times 10^3 \text{ J. Kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$), el área del cilindro expuesta al Sol $S = \pi R^2$, y la pendiente de nuestra gráfica de datos $\frac{\Delta \theta}{\Delta \tau}$

nosotros podemos calcular la potencia captada ó poder colector por unidad de área

(Es decir, la densidad de flujo E):

$$E = \frac{mc}{S} \times \frac{\Delta \theta}{\Delta \tau}$$

ACTIVIDADES

2.-DEDUCCIÓN DE LA CONSTANTE SOLAR.

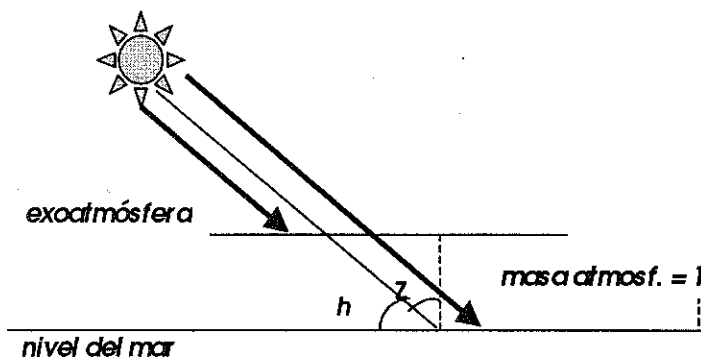


La potencia por unidad de área E calculada anteriormente, está influenciada por la absorción y dispersión en la atmósfera de la Tierra. Vayamos a extrapolar éste valor E al valor extra - atmosférico, nuestra constante solar, E_s .

La trayectoria atmosférica de nuestros rayos solares, depende de la distancia cenital Z :

Los astrónomos hablan a menudo de la "masa atmosférica". Si el Sol está en la posición cenital, la masa atmosférica es 1. Trigonómicamente se demuestra que para nuestro caso general la luz solar atraviesa una masa atmosférica de $1/\cos Z$.

La potencia incidente a nivel del suelo disminuye por la absorción de la radiación gamma. Existe de éste modo una relación de disminución exponencial entre la masa atmosférica y la potencia recibida (transmitida).



Si solo has realizado una medición, la tabla adjunta da la relación E_s/E , la constante solar exoatmosférica por unidad de potencia captada a nivel del mar, para diferentes valores de la distancia cenital y diferentes condiciones del cielo:

Distancia cenital Z	70°	60°	50°	40°	30°	25°
Cielo azul claro	2,50	2,00	1,70	1,50	1,35	1,30
Cielo normal	4,20	3,50	2,60	2,10	1,80	1,60
Ligeramente cubierto	5,30	4,30	3,20	2,50	2,20	2,00

La precisión de los resultados puede ser variada debido al calor perdido en el aparato y también por la pequeña fracción de la radiación solar que es reflejada hacia el cielo en las capas superiores de la atmósfera.

ACTIVIDADES

3.-TEMPERATURA DE LA FOTOSFERA.

(La luz que recibimos del Sol, en el dominio visible, proviene de una muy tenue capa superficial, la fotosfera solar, en la que podemos observar las manchas solares, por ejemplo).

Determinación de la potencia total irradiada por unidad de área de la fotosfera.

La potencia E_S es captada por unidad de área situada a una distancia $d_{ES} = 150 \times 10^6$ Km.

P es la potencia irradiada por el Sol que es recibida por una esfera de área $4\pi d_{ES}^2$; por lo tanto $P = 4\pi d_{ES}^2 \times E_S$.

M , la potencia total emitida por unidad de área de la fotosfera solar (excitancia, antiguamente emitancia) definida como $M = \frac{P}{4\pi R_S^2}$ (donde $R_S = 7 \times 10^8$ Km., es

el radio de la fotosfera solar) puede ser dado por: $M = \frac{d_{ES}^2}{R_S^2} \times E_S$

Determinación de la temperatura de la fotosfera solar

La temperatura T de la superficie solar viene dada por la ley de Stefan:

$M = \sigma T^4$ con $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W. m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, por lo tanto: $T = \sqrt[4]{\frac{M}{\sigma}}$

ACTIVIDADES

4.-EL ORIGEN DE LA ENERGÍA DEL SOL

Distintas hipótesis pueden ser elaboradas en cuanto a la explicación del origen de la energía del Sol. Ésta puede originarse a partir de:

- Las reacciones químicas exotérmicas.
- El paulatino enfriamiento del Sol.
- La lenta contracción gravitatoria (es decir, energía mecánica).
- Las reacciones termonucleares.

Tres de las hipótesis pueden ser estudiadas en el último año del instituto de secundaria en Francia. Consideraciones acerca de la esperanza de vida del Sol pueden conducir a los estudiantes a quedarse con la hipótesis más probable, es decir, la de que la energía del Sol procede de reacciones termonucleares.

El Sol irradia una potencia total P . Sea τ la esperanza de vida del Sol. Entonces $P \times \tau$ será la energía total producida por el Sol durante toda su vida.

Energía generada por reacciones químicas.

Suponiendo como disponible el oxígeno molecular suficiente como para quemar todo el hidrógeno molecular presente en el Sol, la energía emitida por ésta reacción será $m_S \times P_C$, donde m_S es la masa del Sol y P_C el calor de combustión del material del Sol. Considerando todos los gases presentes en el Sol, el de mayor calor de combustión es el hidrógeno molecular con $P_C = 124.700 \text{ KJ/Kg}$. Tomando como $P_C = 200.000 \text{ KJ/Kg}$, la esperanza de vida del

Sol podría ser deducida desde $P \times \tau = m_S \times P_C$, por lo tanto: $\tau = \frac{m_S \times P_C}{P}$ con

$$P = 4 \times 10^{26} \text{ W, dando } \tau = \frac{2 \times 10^{30} \times 2 \times 10^8}{4 \times 10^{26}} \text{ seg., ó } = 30.000 \text{ años } (10^{12} \text{ seg.).}$$

El enfriamiento del Sol

Si la energía fuera producida por un enfriamiento del Sol con masa m_S , entonces la energía disipada por enfriamiento desde la temperatura T (en grados Kelvin) hasta la temperatura 0°K sería $m_S \cdot c \cdot T$, con calor específico c del material solar.

El calor específico del hidrógeno molecular (es decir, del gas con mayor calor específico) es $14,4 \times 10^3 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$. Debido a que el calor específico se incrementa con la temperatura, se puede considerar $c = 20 \times 10^3 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$ el valor superior y, así, se obtiene $\tau = \frac{m_s c T}{p}$ tomando $m_s = 2 \times 10^{30} \text{ Kg}$ y $T = 6.000^\circ\text{K}$, para la

fotosfera, $\tau = 6 \times 10^{11} \text{ seg.}$, ó cerca de 20.000 años.

Una vida para el Sol de 20.000 ó 30.000 años es, por supuesto, demasiado corta, comparada con la de los antiguos fósiles que Darwin descubrió en el año 1.830. Hubo teorías en las que el Sol podría recuperar parte de la energía perdida por bombardeo masivo de meteoritos. Pero entonces, por supuesto, la Tierra estaría persistentemente destrozada también, más frecuentemente que lo observado.

Contracción gravitatoria.

La contracción gravitatoria fue la teoría más importante, muy al comienzo de nuestro siglo. El científico alemán Helmholtz calculó que el Sol puede existir desde hace un millón de años, si recupera su energía directamente por contracción. Fue verdaderamente una hábil sugestión: tales procesos ocurren en ciertas partes del espacio.

La contracción gravitatoria se cree que es la principal fuente de energía de los Quásares.

En nuestro propio Sistema Solar, el planeta gaseoso Júpiter emite enormes cantidades de luz infrarroja debido también a la contracción.

Debido al enorme tamaño del Sol, esto se transformaría en un lento proceso. Helmholtz calculó que se requerirían 7.000 años para obtener una reducción del tamaño solar suficientemente grande como para ser visible por los telescopios terrestres. De éste modo, de acuerdo con ésta teoría, el Sol podría tener desde unos pocos millones de años hasta 100 millones de años.

De cualquier modo, el gran golpe vino en 1.904. Rutherford midió la desintegración de una muestra de mineral de Uranio-238. Éstas desintegraciones producían Helio en el mineral; midiendo el contenido de Helio, Rutherford descubrió que éste mineral de roca terrestre tendría miles de millones de años de edad. El Sistema Solar volvería a ser más viejo que cualquier teoría solar aceptable

Energía generada por reacciones termonucleares.

La última hipótesis para ser discutida es la de que las reacciones termonucleares son la fuente de la energía Solar, una idea que fue por primera vez propuesta por Jean Perrin en 1918. Una fracción m de la masa del Sol se transforma en energía. La cantidad de energía producida es dada por la relación: $E = m \cdot c^2$, donde c es la velocidad de la luz.

Para que tales reacciones puedan ocurrir, se requieren temperaturas de varios millones de grados Kelvin. Únicamente solo una pequeñísima fracción de la masa del Sol (entorno al 10%) está implicada. Además, no toda la masa puede ser transformada en Helio. El rendimiento de éstas reacciones es aproximadamente del 0,7%.

La energía total generada de ésta forma será:

$m \cdot c^2 = m_s \times 0,1 \times 0,007 \times c^2$, por lo tanto a partir de $P \times \tau = \Delta m \times c^2$,

deducimos: $\tau = \frac{m_s \times 7 \times 10^{-4} \times c^2}{P}$, donde: $\tau = 3,15 \times 10^{17}$ seg. ó cerca de los 10^{10} años.

Lo que significa que sólo las reacciones nucleares producidas dentro del Sol, pueden justificar la duración de la vida del Sol.

COMPLEMENTOS PARA EL PROFESOR

1. La constante solar es la potencia total captada por unidad de área; llamada a veces densidad de flujo. En Física, la densidad de flujo se define como la relación entre la potencia total captada por un elemento y el área total de éste elemento.

El término "constante solar" es un vocablo erróneo puesto que no es una constante. La órbita de la Tierra es una elipse y por eso mismo, la distancia Sol-Tierra es variable. En invierno (desde el hemisferio norte), la Tierra está lo más próxima al Sol (el paso por el perihelio ocurre en torno al 3 de Enero). La constante solar de hecho se define para un valor medio de la distancia Sol-Tierra.

Por otra parte, la energía radiada por el Sol va cambiando, de una forma inapreciable, a gran escala de tiempo. Fue mínima (cerca de un 30%) en los primeros años de vida del Sol. La Tierra lo pudo compensar por medio de un mayor importante efecto invernadero (debido a la presencia variable de CO_2 y CH_4 en la atmósfera), así como la presencia de agua líquida en su superficie desde hace varios miles de millones de años.

2. La energía suministrada por el Sol está presente desde el origen de la vida en la Tierra y también, debido a su irregular distribución a lo largo de la Tierra, dirige el movimiento atmosférico y de las masas oceánicas. Para establecer un balance de la potencia global recibida desde el Sol, el albedo de la Tierra (el 30% de la potencia recibida es reflejada hacia el cielo) puede ser considerado tan conveniente como el hecho de que el ángulo de incidencia evidentemente varía con la posición.

Un disco del mismo radio que el de la Tierra recibe una potencia:

$$P = E_s \times \pi r^2$$

Como consecuencia de esto, por valor medio, cada metro cuadrado de

nuestro planeta recibirá una potencia:
$$P = \frac{E_s \times \pi r^2}{4\pi r^2} = \frac{E_s}{4}$$

3. En su camino descendente a través de la atmósfera, la radiación solar es absorbida y dispersada. Éstos fenómenos dependen de la altura del Sol. Cuanto más baja sea la altura (es decir, a mayor distancia cenital), más importante será la absorción y la dispersión. La absorción depende de la concentración de unos pocos componentes como son los que usualmente están presentes en la atmósfera tales como ozono, vapor de agua, dióxido de carbono, metano. La dispersión por aerosol depende de la naturaleza y el tamaño de las partículas (gotitas de agua, cristales de hielo, partículas de polvo). Las cuales pueden producir una extinción que puede acercarse al 60%.

Además, los océanos helados, y las extensiones cubiertas de nieve reflejan cerca del 90% de la luz solar hacia el espacio.

Por término medio, teniendo en cuenta todos los procesos: el 70% de la energía solar que llega se adiciona a nuestro planeta. En conjunto, nuestro planeta consume luz solar correspondiente a su sombra πr^2 : la energía consumida será, pues, igual a $0.70 \times E_S \pi r^2$.

4. ¿Qué es el efecto invernadero?

A continuación tú puedes descubrir un sencillo modelo para el clima de la Tierra.

Aún cuando los números absolutos puedan ser un poco bajos, los resultados diferenciales están en total acuerdo con cálculos mucho más complicados.

Tenemos el balance energético para la Tierra de: (energía consumida = energía perdida)

$$0.70 \times E_S \times \pi r^2 = \frac{100}{119} \times 4\pi r^2 \times \sigma T_{\text{tierra}}^4$$

Donde 0.70 es la absorción terrestre (1-albedo) y 100/119 es aproximadamente el factor invernadero.

Éste factor invernadero es hasta ahora en su mayor parte natural, indicativo de agua, aerosoles, CO_2 , refleja 19/119 del calor emitido devuelto hacia la superficie terrestre. Ésta reflexión actúa así como material aislante. Y el factor 100/119 nos indica qué cantidad de calor se pierde actualmente desde la Tierra hacia el espacio.

Es posible calcular la temperatura media de la Tierra desde la ecuación anterior, tanto con un factor 100/119 como con el 100/100.

La diferencia entre éstas dos temperaturas indica cómo podría enfriarse más la Tierra si no tuviera éste factor invernadero de origen natural.

(Respuesta: $268^\circ\text{K} - 257^\circ\text{K}$, ó $-5^\circ\text{C} - (-17^\circ\text{C}) = -12^\circ\text{C}$).

Imaginemos que la polución de origen humano de CO_2 (por ejemplo) suponga una reflexión del calor por encima de 38/138. ¿Qué aumento de la temperatura podríamos esperar?

(Respuesta: la temperatura media podría ser de en torno a 276°K , correspondiendo a un incremento de $276^\circ\text{K} - 268^\circ\text{K} = 9^\circ\text{K} = 9^\circ\text{C}$).

La temperatura global parece estar incrementándose desde 1.870 entre 0,7 y 1 grado.

Como el ejercicio adjunto muestra, la humanidad tiene no obstante una gran responsabilidad acerca de la polución de CO_2 .

5. ¿La constante solar, es constante?

Existe a menudo la controversia de que si todo incremento de la temperatura es debido a la polución de CO_2 únicamente. Cualquier modelo de predicción del clima asume que la constante solar es muy constante.

En un interesante artículo en la revista Nature, Eigil Friis Christensen y Knud Lassen descubren alguna evidencia de que la constante solar puede variar. Al menos, la temperatura global de la Tierra parece correlacionada con los fenómenos físicos en la superficie del Sol.

Las manchas solares varían normalmente en un ciclo que dura 11 años. A veces éste ciclo es corto, por debajo de 9 años, otras veces largo, por encima de 13 años.

Friis-Christensen y Lassen compararon el calentamiento global desde 1.870 con la longitud e cada ciclo solar, y descubrieron una casi perfecta correlación.

Si es así, parece como si los ciclos solares cortos tuvieran una gran constante solar. De acuerdo con los autores, un incremento del 1% en la constante solar podría ser suficiente, para explicar todo incremento de la temperatura desde 1.870.

La NASA y la ESA han comenzado una prolongada serie de medidas con el fin de comprobar ésta teoría.

EJERCICIOS

- 1) Cálculo de la temperatura de la Tierra con la constante solar original, de 1.371 W/m^2 , y con una constante solar solo 1% mayor. ¿Están Christensen y Lassen en lo cierto, podría un incremento de un 1% en la constante solar tener dramáticos efectos en el clima de nuestro globo terrestre, como, por ejemplo, el calentamiento global observado de $0,7^\circ\text{C}$ en el periodo 1.870-1.994?

- 2) Cálculo de la potencia total radiada por el Sol, conociendo que la potencia captada en la Tierra fuera de la atmósfera es de unos 1.400 W/m^2 (colectados en una superficie perpendicular a los rayos de luz). Siendo la distancia Sol-Tierra de $150 \times 10^6 \text{ km}$.

(Respuesta: cada metro cuadrado situado a una distancia d_{ES} recibe 1.400 W . El área de una esfera de radio d_{ES} es $4\pi d_{ES}^2$ y la potencia total recibida en la superficie de ésta esfera es de: $4\pi d_{ES}^2 \times 1.400 = 3,9 \times 10^{26} \text{ W}$)

- 3) Cálculo de la potencia recibida en la Tierra a nivel del suelo conociendo que el albedo es de 0,30. ¿Cuánta energía solar es absorbida por la máquina Tierra?

(Respuesta: la Tierra refleja el 30% de la energía que recibe del Sol y por lo tanto absorbe el 70% de ésta energía. La potencia captada por metro cuadrado de superficie perpendicular al paso de la luz es: $1.371 \times 0,7 = 960 \text{ W/m}^2$)

- 4) Al comienzo de los años 1.980, Carl Sagan y otros debatieron los efectos de una extensa guerra mundial nuclear. Enormes cantidades de polvo (debido a las explosiones y ataques con fuego) podrían incrementarse el albedo terrestre, tal como ocurrió con la explosión, en 1.993, del volcán Pinatubo. De acuerdo con Sagan y otros, podría ocurrir una disminución permanente de 40°C de temperatura durante todo un año. Efectos similares, como consecuencia de un impacto de cometa hace 60 millones de años, podría haber matado el 70% de las especies vivientes en la Tierra, incluidos los dinosaurios.

Supongamos, que el presente albedo de 0,3 (70% de transmisión de luz) se dobla al 0,6 (40% de transmisión de luz solar). Mira lo que nos muestra ésta ecuación:

$$0.4 \times E_S \times \pi r^2 = \frac{100}{119} \times 4\pi r^2 \times \sigma T_{\text{tierra}}^4 \quad \text{y encuentra la temperatura de ése}$$

invierno nuclear. En nuestro modelo, la temperatura global era de 268°K . Calcula el enfriamiento predicho por nuestro modelo, y compáralo con los resultados de Carl Sagan.

- 5) Venus tiene el mismo tamaño que nuestro planeta. Imagínate, si Venus tuviera una atmósfera similar a la nuestra, ¿podría existir vida en ese parecido planeta?

Hagamos algunos cálculos...

A la distancia d_{VS} , la potencia recibida por metro cuadrado en la parte alta de la atmósfera de Venus es: $V_S = 1.400 \times d_{ES}^2 / d_{VS}^2 = 2.680 \text{ W.m}^{-2}$

como $d_{VS} = 0,723 \text{ AU}$. Fíjate, con el mismo balance que en los "complementos para el/la profesor/a-4", tenemos: $0,70 \times V_S \times \pi r^2 =$

$$\frac{100}{119} \times 4\pi r^2 \times \sigma T_{\text{tierra}}^4$$

Calculamos que la temperatura podría ser de 302°K ó 29°C .

Esta temperatura no es demasiado alta, actualmente el científico sueco Arrhenius y algunos otros piensan que en Venus puede prosperar la vida. Autores como Camille Flammarion, "Pluralidad de los Mundos habitados", 1.894, hablaron sobre enormes masas boscosas, insectos tan grandes como carretas, etc...

Sin embargo, hablando en la realidad, Venus es totalmente estéril, libre de cualquier tipo de vida. Lo cuál es debido a un alto efecto invernadero, elevándose la temperatura superficial desde los 29°C hasta más de $400\text{-}500^\circ\text{C}$.

En los años 1.960, investigaciones optimistas hablaban acerca de plantar algas en nuestro planeta hermano. Algunas algas por ejemplo, el alga de aguas termales- sobreviven en rudas condiciones en nuestro mismo planeta Tierra, entonces ¿porqué no?. La fotosíntesis podría comenzar, reduciendo el CO_2 contenido en la atmósfera de Venus, enfriando el planeta, etc...

Desdichadamente, ésta fantástica idea no podría funcionar. La temperatura es tan alta que la mayor parte del agua se disocia en hidrógeno y oxígeno, escapando del planeta junto con otras moléculas.

- 6) Cálculo de la potencia P absorbida por metro cuadrado por el suelo de Marte (perpendicular al paso de la luz), sabiendo que la Tierra recibe 980 W/m^2 a nivel del suelo, y que el albedo de la Tierra y de Marte son 0,30 y 0,16 respectivamente. La distancia de Marte al Sol es de 1,52 AU.

Calculad la temperatura superficial de Marte (la mayor parte de los polos están cubiertos por dióxido de carbono helado: ¿es esto apropiado con esa temperatura?).

(Respuesta: La potencia captada por metro cuadrado por encima de nuestra atmósfera es de $980/0,7 = 1.400 \text{ W}$. Sea P_M la potencia recibida por metro cuadrado a la distancia de Marte, de $1,52 \text{ AU}$). Esto significa que: $1.400 \times 4\pi d_{ES}^2 = 4\pi d_{MS}^2 \times P_M$, y $P_M = 1.400 \times d_{ES}^2 / d_{MS}^2 = 622 \text{ W.m}^{-2}$. Puesto que el albedo de Marte es de $0,16$, el planeta absorbe el 84% de la potencia recibida, ó sea: $622 \times 0,84 = 532 \text{ W.m}^{-2}$, tenemos que: $622 \times 0,84 \times \pi r_M^2 \times \sigma T_{\text{Marte}}^4$, con $0,84 = 1 - \text{albedo}$, falta casi de efecto invernadero. Calculamos que la temperatura podría ser: 219°K ó -54°C , indicativo de que la fina atmósfera de CO_2 puede congelarse dentro de los límites de las zonas polares.

BIBLIOGRAFIA

- J. A. Eddy, The Case of the missing Sunspots, Scientific American, 1.977.
- E. F. Christensen, K. Lassen, Nature, vol.254, p.698-700, 1995.
- H. H. Lamb , *Weather, Climate and Human affairs*, Routledge, London, 1.988.
- K. Lassen, E. F. Christensen, Journal of Atmospheric and Terristic Research, vol.57, p.835-844, 1995.
- J. Sert, M. Winter, *How hot is the Sun? Measuring the solar constant*, EAAE Newsletter, vol. 1, p.15-18, 1995
- J. Sert, M. Winter, *How hot is the Sun? Measuring the solar constant*, EAAE Newsletter, vol. 2, p. 6-9, 1995



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados. También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente colección.

Más información en www.apea.es

