

## Práctico 1

---

*La resolución se entrega en modalidad informe (en .pdf) antes de la fecha indicada en la plataforma EVA. Se sugiere realizar la resolución utilizando algún software de su elección (Python, R, Julia, Matlab, Octave o una planilla electrónica). Los ejercicios planteados durante las exposiciones teóricas otorgan puntaje extra a efectos de la evaluación.*

---

### Ejercicio 1 - Ángulo sólido

- Calcule el ángulo sólido que subtiende una esfera de radio  $R$ , cuyo centro se ubica a una distancia  $D$  de un observador ubicado en  $O$  (asuma  $D > R$ ).
- Aplique el resultado anterior para calcular el ángulo sólido que subtiende el Sol ( $R_s = 6.96 \times 10^5 \text{ km}$ ,  $D_s = 1.496 \times 10^8 \text{ km} = 1 \text{ UA}$ ) y la Luna ( $R_l = 1.74 \times 10^3 \text{ km}$ ,  $D_l = 3.84 \times 10^5 \text{ km}$ ) para un observador en la Tierra. ¿Qué porcentaje del cielo ocupa cada uno? ¿Cómo explica la ocurrencia de eclipses totales?
- La densidad de flujo de radiación solar de banda ancha que incide en el tope de la atmósfera vale en promedio  $1361 \text{ W/m}^2$  (cuando incide en un plano normal). Use el resultado de la parte anterior para calcular la intensidad radiante de la superficie del Sol.
- Debido a la órbita elíptica de la Tierra, la distancia Tierra-varía entre  $1.017 \text{ UA}$  y  $0.983 \text{ UA}$ , calcule el efecto de esta variación en el ángulo sólido del sol de la aparte (b).

### Ejercicio 2 - Emisión radiativa de Cuerpo Negro

- Demuestre la ley de desplazamiento de Wien, que establece que la longitud de onda para la cual la radiancia espectral emitida por un cuerpo negro es máxima ( $\lambda_{MAX}$ ), varía en proporción inversa con su temperatura,  $T$ , es decir  $\lambda_{MAX} \propto T^{-1}$ . Halle la constante de proporcionalidad.
- Compruebe que el máximo de emisión de un cuerpo negro es proporcional a la quinta potencia de su temperatura.
- Un radiómetro a bordo de un satélite meteorológico mide la radiación emitida por la superficie de la Tierra en un canal espectral sensible a la radiación en el entorno de los  $10 \mu\text{m}$  (infrarrojo térmico). Asumiendo que el efecto de la atmósfera puede ser omitido, calcule la temperatura de brillo de la superficie si la señal de radiancia es de  $9.8 \text{ W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$ .
- La fotosfera del Sol tiene una temperatura aproximada de  $5800 \text{ K}$ . Calcule qué porcentaje de su intensidad emitida corresponde a longitudes de onda mayores a  $5.1 \mu\text{m}$ .
- El sistema Tierra-atmósfera tiene una temperatura efectiva de equilibrio de  $255 \text{ K}$ . Calcule el porcentaje de intensidad emitida con longitudes de onda menores a  $5.1 \mu\text{m}$ .
- Grafique el espectro solar en el tope de la atmósfera y el emitido por la Tierra en una misma figura.

### Ejercicio 3 - Espectros de referencia estándar

Usaremos el espectro de referencia [E490](#) (disponible en el EVA del curso) para la irradiancia solar en incidencia normal en el tope de la atmósfera (TOA).

- Grafique el espectro de referencia y analice sus diferencias con el obtenido en el ejercicio anterior. ¿Qué porcentaje de la radiación TOA corresponde a las bandas UV, VIS y NIR?
- A partir de los datos anteriores, calcule el flujo fotónico en el TOA, y calcule qué porcentaje de fotones caen en cada banda UV, VIS y NIR. *Observación: el flujo fotónico se suele expresar en  $\mu\text{mol}/\text{s m}^2$  y un mol equivale a  $6.02 \times 10^{23}$  partículas.*
- Considere el espectro de referencia [ASTM-G173](#), para la irradiancia espectral directa en incidencia normal en superficie para una atmósfera estándar y una masa de aire de  $m = 1.5$ . Repita las partes (a) y (b) utilizando este espectro.
- Comparando ambos estándares, calcule y grafique la transmitancia espectral y el espesor óptico total en función de la longitud de onda.

## Ejercicio 4: Langley plot

### (i) Transmitancia atmosférica en el infrarrojo cercano

En un día sin nubes, se mide la densidad de flujo solar directa en el rango 1.5-1.6  $\mu\text{m}$ ,  $F$ , en la superficie terrestre. Se obtienen los siguientes valores:

ángulo cenital solar	40°	50°	60°	70°
$F$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	13.95	12.55	10.46	7.67

Calcule la densidad de flujo en el tope de la atmósfera y la transmisividad atmosférica para incidencia normal en este rango espectral.

### (ii) Medidas reales

Usaremos los datos de mediciones espectrales disponibles en el [EVA](#). Allí se encuentran datos de irradiancia espectral tomados por el instrumento EKO-MS711 en los canales 340 nm, 500 nm y 870 nm durante el 2 de noviembre de 2021 en la azotea de la Facultad de Ingeniería, Montevideo. Durante ese día el cielo estuvo despejado.

- Utilizando el método de Langley Plot, estime la profundidad óptica total en esas longitudes de onda.
- Estime la irradiancia espectral en el tope de la atmósfera y compare el resultado el estándar del ejercicio 3.

## Ejercicio 5 - Transmitancia de una nube

Cierta nube estratificada (hipótesis de plano paralelo) contiene una densidad de agua líquida  $\rho_w = 0.10 \text{ g}/\text{m}^3$  y un espesor de  $\Delta z = 100 \text{ m}$ . A una cierta longitud de onda, el coeficiente de extinción de masa de las gotas es de  $k_{e,w} = 150 \text{ m}^2/\text{kg}$ , y el *single scattering albedo*  $\omega = 1.0$ . El aire en el que se suspenden las gotas está absorbiendo a esta longitud de onda, con un coeficiente de absorción de  $\beta_a = 10 \text{ km}^{-1}$  y  $\omega_2 = 0$ .

- Calcule  $\beta_e$ ,  $\beta_s$ ,  $\beta_a$  y  $\omega$  para la mezcla aire + agua
- Calcule el espesor óptico de la nube  $\tau$ .
- Si en el tope de la nube incide una intensidad  $I_{\lambda, TOP}$  con un ángulo cenital  $\theta = 60^\circ$ , calcule la intensidad directa transmitida,  $I_{\lambda, BOT}$ .

## Ejercicio 6 - Modelo radiativo simple de la atmósfera

Consideremos un modelo simple del sistema Tierra-Atmósfera, donde la superficie terrestre se modela como un objeto opaco y la atmósfera se modela como una capa absorbente pero no dispersiva. La superficie tiene emisividad  $\epsilon = 1$  y una reflectancia uniforme  $\rho$ . La atmósfera tiene una absorptancia  $a_{SW} = 0$  para la radiación dentro del espectro solar y de  $a_{LW} > 0$  para la radiación térmica. Usaremos que la radiación solar promedio en el tope de la atmósfera es  $S_o/4$  ( $S_o = 1361 \text{ W/m}^2$ ). Asuma que el sistema se encuentra en equilibrio.

- Enumere todos los flujos involucrados (emitidos, transmitidos y reflejados). Muéstrellos en un diagrama diferenciando cuáles corresponden a radiación de onda corta (solar) y cuáles de onda larga (radiación térmica).
- Calcule la temperatura de equilibrio de la superficie ( $T_s$ ) y de la atmósfera ( $T_a$ ) en función de  $a_{LW}$  y  $\rho$ .
- Utilizando un valor de reflectancia de  $\rho = 0.3$ , grafique  $T_s$  y  $T_a$  en función de  $a_{LW}$ .