Fenómenos de Transporte: Informe ABP

Equilibrio Radiativo y Distancia de Seguridad

Erick Raasch, Terence O'Mahonny, Benjamín Junemann

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería

Prof: Christian Hernández | Ayudante: Deyanira Carrillo

1 de diciembre de 2025

Tabla de Contenidos

Introducción y Contexto

- **Contexto:** La exploración espacial y el riesgo de objetos astronómicos cercanos.

Introducción y Contexto

- **Contexto:** La exploración espacial y el riesgo de objetos astronómicos cercanos.
- **La Pregunta:** ¿Hasta qué punto puede acercarse un cuerpo celeste caliente sin desestabilizar el clima terrestre?

Introducción y Contexto

- **Contexto:** La exploración espacial y el riesgo de objetos astronómicos cercanos.
- **La Pregunta:** ¿Hasta qué punto puede acercarse un cuerpo celeste caliente sin desestabilizar el clima terrestre?
- **Objetivo:** Determinar la **distancia mínima de seguridad** R para que la temperatura superficial no suba más de ΔT.

Introducción y Contexto

- **Contexto:** La exploración espacial y el riesgo de objetos astronómicos cercanos.
- **La Pregunta:** ¿Hasta qué punto puede acercarse un cuerpo celeste caliente sin desestabilizar el clima terrestre?
- **Objetivo:** Determinar la **distancia mínima de seguridad** R para que la temperatura superficial no suba más de ΔT.
- **Herramienta:** Ley de Stefan-Boltzmann y equilibrio radiativo.

Planteamiento del Problema

Problema

Considere un cuerpo negro esférico de radio r_s a temperatura T_p. Este cuerpo se sitúa a una distancia R de la Tierra.

Determine la expresión para la **distancia mínima** R necesaria para asegurar que la temperatura promedio terrestre no aumente más allá de ΔT.

Balance de Energía Inicial

Partimos de la premisa de equilibrio actual: la energía absorbida del sol es igual a la emitida.

$$Q_{sol} = Q_{emitido}$$

Por la Ley de Stefan-Boltzmann:

- Energía emitida por unidad de área: σT_e^4
- Área superficial de la Tierra: $A_T = 4\pi R_T^2$

$$Q_{sol} = 4\pi R_T^2 \sigma T_e^4$$

Perturbación del Sistema

Al incluir el cuerpo negro de radio r_s y temperatura T_p:

$$Q_{sol} + Q_{\text{cuerpo}} = Q_{\text{emitido nuevo}}$$

Sustituyendo el estado final $(T_e + \Delta T)$:

$$4\pi R_T^2 \sigma T_e^4 + Q_{\text{cuerpo}} = 4\pi R_T^2 \sigma (T_e + \Delta T)^4$$

Despejando el aporte del cuerpo externo:

$$Q_{\text{cuerpo}} = 4\pi R_T^2 \sigma ((T_e + \Delta T)^4 - T_e^4) \tag{1}$$

Modelado de la Irradiación Externa

Calculamos el calor recibido Q_{cuerpo} considerando la geometría y el albedo:

$$Q_{\text{cuerpo}} = (1-\alpha)\cdot(\pi R_T^2)\cdot(\sigma T_p^4)\cdot\left(\frac{r_s}{R}\right)^2 \tag{2}$$

Donde:

- $(1-\alpha)$: Factor de absorción (Albedo).
- πR_T^2: Sección transversal de la Tierra.
- $\left(\frac{r_s}{R}\right)^2$: Factor de visión o irradiación a distancia R.

Resultado Final

Igualando (1) y (2) y despejando R:

$$\left(\frac{r_s}{R}\right)^2 = \frac{4\pi R_T^2 \sigma((T_e + \Delta T)^4 - T_e^4)}{(1-\alpha)\cdot(\pi R_T^2)\cdot(\sigma T_p^4)}$$

$$R = r_s \cdot \sqrt{\frac{(1-\alpha)T_p^4}{4((T_e + \Delta T)^4 - T_e^4)}}$$

Fórmula Final

$$\boxed{R = r_s \cdot T_p^2 \cdot \sqrt{\frac{(1-\alpha)}{4((T_e + \Delta T)^4 - T_e^4)}}}$$

Parámetros de Estudio

Para ilustrar, definimos un criterio de seguridad estricto para la Tierra:

- **Temp. actual (T_e):** 288 K (15°C).
- **Albedo (α):** 0,3.
- **Límite (ΔT):** 1 K.

Calculamos el **Factor de Sensibilidad Térmica** constante:

$$K_{tierra} = \sqrt{\frac{1-\alpha}{4((T_e+\Delta T)^4 - T_e^4)}} \approx 4{,}27 \times 10^{-5}\,[\mathrm{K}^{-2}]$$

$$R = r_s \cdot T_p^2 \cdot K_{tierra}$$

Caso 1: Estrella de la muerte

Datos:

- Radio $r_s = 10\,\mathrm{km}$.
- Temp $T_p = 1 \times 10^6\,\mathrm{K}$.

Cálculo:

$$R \approx 4{,}27 \times 10^{11}\,[\mathrm{m}]$$

$$R \approx 2{,}85\,[\mathrm{UA}]$$

Interpretación

A pesar de ser pequeña (10 km), su temperatura es tan alta que debe ubicarse en el **Cinturón de Asteroides** (entre Marte y Júpiter) para no calentar la Tierra más de 1°C.

Caso 2: Sol Artificial

Datos:

- Radio $r_s = 500\,\mathrm{m}$.
- Temp $T_p = 5000\,\mathrm{K}$.

Cálculo:

$$R = 533,750\,[\mathrm{m}] \approx 534\,\mathrm{km}$$

Interpretación

Esto ubica al objeto en la órbita baja (LEO), altura similar al Hubble.

Incluso una fuente de calor pequeña hecha por ingeniería podría ser catastrófica si se coloca en órbita baja.

Limitaciones Físicas del Modelo

¡Advertencia!

Solo estamos estudiando los cambios en la temperatura del planeta, ignorando los efectos gravitatorios.

- Los resultados satisfacen el equilibrio radiativo, pero ignoran la **gravedad**.
- Ejemplo: La masa de una estrella de neutrones destruiría el sistema solar gravitacionalmente mucho antes de llegar a la distancia térmica segura de 2.85 UA.
- **Conclusión:** R es una **cota inferior térmica**, no una distancia de seguridad absoluta.

Conclusiones

1. **Relación Clave:** La distancia segura depende cuadraticamente de la temperatura ($R \propto T_p^2$). Objetos calientes requieren distancias enormes.
2. **Protección:** El factor de absorción terrestre $(1 - \alpha)$ ayuda a mitigar el calentamiento reflejando energía.
3. **Realidad vs Modelo:** El cálculo es válido termodinámicamente, pero idealizado. En cuerpos masivos, la gravedad es el factor limitante dominante antes que el calor.

z

¡Gracias por su atención!