

## La temperatura de las estrellas: utilizando un simulador de PhET para indagar sobre Física Moderna

### Washington Meneses

Centro Regional de Profesores (Ce.R.P.) del Norte, Consejo de Formación en Educación.  
Ruta 5, km 495.5, Rivera, Uruguay, [wameneses@gmail.com](mailto:wameneses@gmail.com)

### Resumen

Este trabajo rescata una experiencia de aula, con estudiantes del último año de educación media, en el que se explora, a través de un simulador de PhET, las características de un tema fundacional de la Física Cuántica: el espectro de emisión del cuerpo negro. Trabajando en equipos, aplicando una metodología de aprendizaje activa y utilizando dispositivos móviles con conexión a Internet, el grupo completó una secuencia de actividades centradas en la simulación que favorecen el acercamiento a conceptos de la física moderna y sus aplicaciones a la tecnología y la astronomía.

**Palabras clave:** educación, simulaciones, física, astronomía

### Introducción

Aunque indispensables para la ciencia y la tecnología actuales, el acercamiento a temas de física moderna generalmente se posterga en los currículos de la educación media. En Uruguay, la Dirección General de Educación Secundaria (DGES) tiene vigente el plan 2006 para Educación Media Superior, y se implementará la reforma educativa en el año 2024. En ambos casos, los contenidos relacionados con la física moderna se encuentran al final del último curso, con alta probabilidad de que no se logren estudiar de forma plena en el año lectivo. Motivados por esa realidad, en la última semana de septiembre de 2023, se avanzó en el estudio de un tema de física moderna incluido en el programa de la asignatura Física, con la participación de estudiantes preuniversitarios del tercer año de los Bachilleratos de Medicina e Ingeniería, del Colegio Teresiano de la ciudad de Rivera, Uruguay. El asunto seleccionado fue la Radiación del Cuerpo Negro, cuya explicación, realizada por Max Planck en 1900, se identifica como el momento inicial de la Física Cuántica. Por esa razón, resulta relevante que los docentes de la especialidad conozcan los recursos que están disponibles en la reconocida plataforma educativa de PhET, de la Universidad de Colorado Boulder, para estudiar de manera atractiva incluso los temas más contemporáneos de las ciencias.

Uno de los problemas en la enseñanza de la física moderna radica en la dificultad de reproducir los experimentos en el aula. El uso de simuladores colabora en la demostración del proceso de análisis e interpretación, que de otro modo resultarían demasiado abstractos y costosos. Además, como lo plantean López y Orozco (2017), las simulaciones aceptan aportaciones de los usuarios y presentan los resultados en forma gráfica, permitiendo a los

alumnos jugar un papel más activo en el proceso educativo. Aunque no sustituyen la actividad experimental, las simulaciones ayudan a que los estudiantes interactúen con las variables características del problema estudiado. En ese sentido, “las simulaciones interactivas son una herramienta útil para mejorar el aprendizaje conceptual y ayudar a desarrollar habilidades científicas en los estudiantes, pero su eficiencia depende de la estrategia didáctica implementada por los profesores” (López, 2020). Estrategias basadas en la metodología STEM, como las Clases Demostrativas Interactivas, la Instrucción por Pares o la Indagación Guiada, algunas usadas en esta actividad motivan a los estudiantes, facilitando la construcción de predicciones, explicaciones y conclusiones basadas en el pensamiento científico.

### **Planificación**

Esta propuesta didáctica se ha pensado para su implementación en educación media superior, siendo también adecuada para el nivel universitario inicial. Los tres principales objetivos de aprendizaje se orientan a identificar la relación de la intensidad con de la temperatura para la radiación de cuerpo negro, analizar gráficas y deducir la proporcionalidad entre la temperatura y la longitud de onda máxima, además de fomentar la discusión sobre los usos de la radiación térmica en la astronomía y la tecnología.

La metodología utilizada fue la implementación de una secuencia de aprendizaje basada en un Plan de Clase con hoja de actividades (PhET, 2023), donde se desarrolló la secuencia basada en trabajo individual y en equipos, partiendo de un pre-laboratorio, con la intención de explorar ideas previas, continuando con un espacio de exploración a través de un juego abierto, pasando la actividad centrada en la simulación, para discutir y resumir los conceptos fundamentales del tema, concluyendo con una puesta en común y un post-laboratorio.

En todo el proceso, el docente trató de facilitar oportunidades de discusión e intercambio de ideas centradas en el pensamiento crítico, una de las habilidades clave de la educación STEM (Delgado, 2019). Las intervenciones del docente se limitaron a organizar la secuencia fluida de la actividad y a contestar dudas puntuales que facilitarían los procesos de interacción entre los equipos.

El plan de clase y las hojas de actividades tienen la estructura de planificación recomendada por PhET Simulations en su espacio de enseñanza, orientada a promover la metodología STEM, y se basó en la experiencia del autor como participante de la segunda cohorte de PhET Fellowship.

El contenido curricular está incluido en el programa de la asignatura Física de tercer año de Bachillerato de Educación Media Superior de la DGE de Uruguay, en las opciones Físico-Matemático y Ciencias Biológicas.

### **Implementación**

Los objetivos de aprendizaje que se propusieron fueron que los estudiantes, utilizando el simulador PhET, identificaran la relación de la intensidad con de la temperatura para

la radiación de cuerpo negro, dedujeran la proporcionalidad entre la temperatura y la longitud de onda máxima, y reconocieran las aplicaciones de la radiación térmica en la astronomía y la tecnología. La actividad se desarrolló en tres horas de clase (con un total de 120 minutos), con la participación de 18 estudiantes de tercero de Bachillerato (jóvenes con un promedio de edad de 17 años, siendo 10 mujeres y 8 hombres) trabajando en grupos de cuatro o cinco integrantes, con funciones diferenciadas (coordinador, secretario, portavoz y contralor de tiempo) y rotativas. Todos los integrantes del grupo contaron con celulares, tabletas o notebooks propias, y el centro educativo tiene una red Wifi completamente operativa, por lo que se optó por compartir formularios virtuales a medida que se cumplía cada etapa de la planificación. El acceso al material se hizo a través del grupo de WhatsApp utilizado desde el inicio del año lectivo. En la figura 1, se muestra uno de los equipos explorando el simulador de PhET y completando los formularios virtuales. La hoja de actividades utilizada por los estudiantes se agrega en anexos.



**Figura 1.** Estudiantes de tercero de Bachillerato en dos momentos de la actividad, utilizando el simulador de PhETy respondiendo los formularios virtuales. (Fuente: Elaboración del autor y de sus estudiantes).

Aunque en este caso se aplicó un formato de trabajo completamente digital, las hojas de trabajo también se pueden imprimir y distribuir en equipos. El acceso a la simulación fue realizado en tiempo real por las características de grupo, pero es posible descargar el simulador en una computadora y explorar la potencialidad de esa herramienta con la clase entera. En ese caso, se recomienda contar con un proyector o monitor en el salón. Eventualmente, todo el proceso también se puede desarrollar en una plataforma de videoconferencias.

Quisiera agregar que, en la mayoría de los puntos del programa del curso, fue posible incluir actividades experimentales para profundizar cada tema. Entretanto, al llegar a la física cuántica, no se contaba con los instrumentos adecuados para realizar actividades de laboratorio y por ello se optó por utilizar el simulador disponible en la plataforma PhET. El carácter sencillo pero completo de la pestaña del simulador permitió que los estudiantes analizaran el fenómeno de manera cooperativa, trabajando en grupos pequeños orientados por hojas de actividades y con el acompañamiento del profesor.

Los alumnos se involucraron a través de la discusión en los grupos y la resolución de retos vinculados con la aplicación de la temática a la tecnología (¿cómo se mide la temperatura de un horno?), y la ciencia (¿por qué no brilla la Tierra?, ¿por qué es peligroso exponerse al Sol, pero no a una lamparita?), especialmente la astronomía (¿cómo se identifica la temperatura de las estrellas?). Al tratar el tema espectro de radiación de cuerpo negro se está presentando

una las experiencias de transición de la física clásica a la cuántica, porque la explicación ondulatoria no es suficiente y se necesita incluir el modelo propuesto por Planck, lo que se explora en la siguiente clase.

## Resultados y Conclusiones

El desarrollo de la actividad fue planificada, revisada y modificada en varias oportunidades, hasta identificar la secuencia que mejor se adaptaría a la realidad del grupo. Considero que los objetivos de aprendizaje fueron alcanzados por los estudiantes, lo cual se observó al analizar las respuestas obtenidas en tiempo real a través de los formularios en línea, así como en las presentaciones realizadas por los vocales de cada grupo al completar la secuencia de la hoja de actividades. El uso de la simulación PhET permitió que todos los alumnos exploraran un tema complejo a través de una interfaz gráfica intuitiva, que funcionó correctamente en todos los dispositivos informáticos usados en la clase (celulares, tablets, notebooks). Además, se redujo el factor de distracción con los celulares, ya que se encontraban en uso para completar los formularios.

Se planificó pensando en el trabajo en equipos y en la puesta en común de ideas emanadas de las discusiones en pequeños grupos. La actividad dio centralidad a los estudiantes y sus conclusiones. El profesor pudo actuar como organizador y acompañante de la actividad, participando en momentos puntuales para explicar u orientar los procesos de intercambio de ideas. Se puede destacar que el uso de hojas de actividades virtual facilitó el desarrollo organizado y fluido de la clase. Con esa guía, se contrastaron las hipótesis, identificaron variables y verificaron las relaciones físico-matemáticas involucradas en el modelo de emisión de radiación, transitando del modelo ondulatorio clásico a la necesidad de una explicación cuántica.

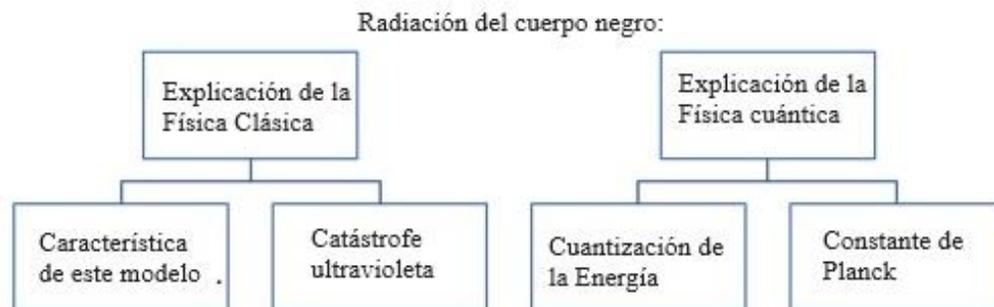
Los resultados fueron satisfactorios, ya que los estudiantes completaron las tareas y cada grupo pudo presentar sus conclusiones según lo planificado para esta instancia. Hay que continuar explorando los beneficios de metodologías de aprendizaje activo, con énfasis en STEAM, a través de actividades experimentales y el uso de simulaciones PhET. Resulta fundamental implicar a los estudiantes en el aula y evaluar los procesos académicos y competenciales a través de actividades colaborativas.

Consideramos relevante seguir utilizando los documentos virtuales compartidos (por ej. Google Docs, Padlet, Jamboard) y las herramientas de evaluación virtual (como Mentimeter) para obtener respuestas sincrónicas que motivan la discusión en el aula.

En esta oportunidad se realizaron varios cambios en la planificación respecto a la versión inicial, y se logró completar la puesta en común en todas las etapas. Sin embargo, hay que seleccionar las preguntas y tareas de la hoja de actividades según las características de cada grupo, para que todos los estudiantes puedan realizar aportes, especialmente en el post-laboratorio.

Para finalizar, sobre el tema de la temperatura de las estrellas, se obtuvieron respuestas adecuadas en la puesta en común, aunque los equipos presentaron algunos argumentos apoyados parcialmente en preconceptos sobre temperatura y color, en lugar de recurrir al modelo planteado en la simulación. Probablemente, las dificultades del cambio conceptual están relacionadas con el importante nivel de abstracción del problema.

Luego de esta actividad se podrá abordar el cambio del modelo para explicar el comportamiento de la emisión de la luz. Se recomienda, como continuidad de este tema, elaborar un diagrama con las características de los modelos clásico y cuántico de la radiación de cuerpo negro, incluyendo conceptos como la catástrofe ultravioleta, la cuantización de la energía y la constante de Planck. En la figura 2 se comparte un diagrama conceptual para organizar los aportes sobre el tema.



**Figura 2.** Propuesta de esquema conceptual para el abordaje de la transición hacia la mecánica cuántica. Se puede plantear como tarea domiciliaria o actividad de exploración en equipos. (Fuente: Elaboración del autor y de sus estudiantes).

## Bibliografía

- Delgado, P. (2019). Educación STEM: ¿qué es y cómo sacarle provecho? Instituto para el futuro de la Educación, Tecnológico de Monterrey, *Observatorio*. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/educacion-stem-que-es-y-como-sacarle-provecho/>
- DGES (2023). *Planes y programas*. Uruguay. <https://www.dges.edu.uy/propuesta-educativa/planes>
- López, D. y Orozco, J. (2017). Clases Interactivas Demostrativas con el uso de simulaciones PhET para Mecánica en Preparatoria. [http://www.lajpe.org/jun17/2322\\_AAPT\\_2017.pdf](http://www.lajpe.org/jun17/2322_AAPT_2017.pdf)
- López, D. (2020). Estrategias didácticas para el uso eficaz de simulaciones interactivas en el aula. *Latin American Journal of Science Education*, 7. [https://www.lajse.org/may20/2020\\_12019.pdf](https://www.lajse.org/may20/2020_12019.pdf)
- PhET (2023). Diseño de Hoja de Actividades. <https://phet.colorado.edu/es/teaching-resources/virtual-workshop/science-activity-design?section=design-activity-sheets>
- Universidad de Colorado Boulder (s.f). *PhET Interactive Simulations*. <https://phet.colorado.edu/es/>
- Unicef (2013). Fundamentación teórica: Manual interactivo para la ruta de trabajo “Educación STEAM para la innovación, la calidad y el desarrollo de habilidades, en centro educativo”. <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/fundamentacion-steam.pdf>

## Anexos

### Hoja de actividades para estudiantes

#### Pre-laboratorio

Responda las siguientes preguntas de forma individual

1. Explique un par de características que permitan diferenciar la luz que emiten las brasas de una hoguera y la luz que proviene del Sol.

---

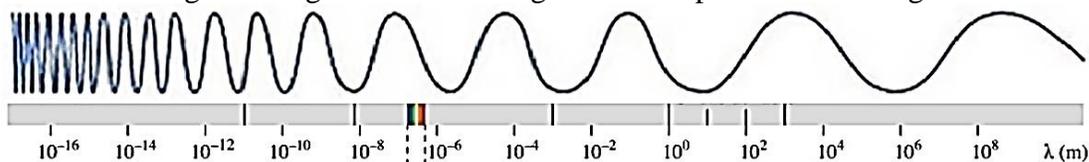


---



---

2. En la siguiente figura se indican regiones del espectro electromagnético.



Enumerar los tipos de onda según las longitudes mostradas en el diagrama.

- |                                  |                                      |                                    |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="radio"/> Rayos x    | <input type="radio"/> Ondas de Radio | <input type="radio"/> Microondas   |
| <input type="radio"/> Infrarrojo | <input type="radio"/> Luz visible    | <input type="radio"/> Ultravioleta |

3. Explica brevemente qué consideras que ocurre con la intensidad de la luz emitida por un objeto incandescente si se modifica su temperatura.

---



---



---

4. Cuando se calienta un metal, el mismo pasa por varias etapas emitiendo luz de diferentes "colores".

¿A cuál color le corresponde mayor temperatura?  rojo  azul

Explica tu respuesta.

---



---



---

5. La Tierra tiene una temperatura media de 25 °C. Entonces, ¿cómo explicas que no la vemos brillar?

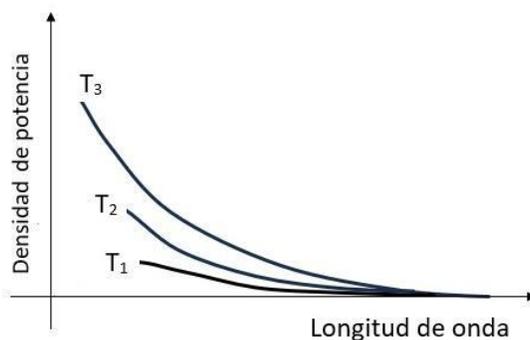
---

---

---

6. Para la siguiente gráfica, ¿cuál de las opciones consideras correcta?

- a.  $T_1 > T_2 > T_3$
- b.  $T_1 < T_2 < T_3$
- c.  $T_1 = T_2 = T_3$
- d. Otra. Indique cuál: \_\_\_\_\_



### Juego abierto - Exploración del simulador

Explorar la simulación de PhET : Espectro de radiación del Cuerpo Negro. Se puede acceder a la simulación a través del enlace: <https://phet.colorado.edu/es/simulations/blackbody-spectrum>.

Trabajando en equipos de cuatro integrantes, definan los roles de coordinador, secretario, portavoz y moderador.

- a. Comenten tres cosas que les resultaron interesantes en la simulación.

---

---

---

- b. Citen dos cosas que no hayan entendido en la simulación.

---

---

---

- c. Imaginen una posible aplicación de la simulación.

---

---

## Interpretación de datos

Comentario: La radiación de cuerpo negro es un concepto importante en la termodinámica y en la física cuántica. Se refiere a la radiación electromagnética emitida por un objeto ideal que absorbe toda la radiación que incide sobre él y emite radiación a una temperatura constante. Ciertos objetos pueden aproximarse a un cuerpo negro en condiciones específicas, por ejemplo, los hornos, los metales incandescentes, las estrellas y los agujeros negros.

Responder las siguientes preguntas utilizando el simulador.

1. Modificar el “termómetro” ubicado a la derecha de la pestaña del simulador.

Observar qué ocurre con la simulación y completar los siguientes datos.

Comentario: Con las lupas se pueden cambiar las escalas de los ejes horizontal y vertical.

T1=3050 K (Bombilla):  $\lambda_{\text{pico1}}$  (mm) = \_\_\_\_\_

Densidad pico1 (MW/m<sup>2</sup>/μm) = \_\_\_\_\_

T2=5800 K (Sol):  $\lambda_{\text{pico1}}$  (mm) = \_\_\_\_\_

Densidad pico1 (MW/m<sup>2</sup>/μm) = \_\_\_\_\_

T3=10000 K (Sirio):  $\lambda_{\text{pico1}}$  (mm) = \_\_\_\_\_

Densidad pico1 (MW/m<sup>2</sup>/μm) = \_\_\_\_\_

¿Qué cambios se observan en el simulador a medida que se obtienen esos datos?

---

---

2. Al aumentar la temperatura del cuerpo negro, el *pico* de la curva de la Densidad de Potencia Espectral:

- se desplaza hacia longitudes de onda mayores.
- no se desplaza y tiene siempre el mismo valor.
- se desplaza hacia longitudes de onda menores.
- siempre se ubica en la región visible del espectro.
- es independiente de la temperatura.

3. Discutir qué significa el código B G R, que se encuentra sobre la gráfica.

---

---

4. ¿Qué informaciones se obtienen al activar las siguientes casillas?

Valores de gráfico: \_\_\_\_\_

Etiquetas: \_\_\_\_\_

Intensidad: \_\_\_\_\_

5. Al duplicar la temperatura, la intensidad:
- se duplica.
  - se reduce a la mitad.
  - se vuelve cuatro veces mayor.
  - se vuelve dieciséis veces mayor.
  - no se modifica.
6. La constante de Wien, que representaremos por  $w$ , es aproximadamente  $w=2898\mu\text{m K}$ . Con los datos del simulador, ¿cuál de las siguientes ecuaciones representa mejor la relación entre la temperatura y la longitud de onda del pico de Densidad de potencia de la radiación térmica?:
- $T/\lambda_{\text{pico}}= w$
  - $T \lambda_{\text{pico}}= w$
  - $\lambda_{\text{pico}} /T = w$

¿Cómo se llegó a esa conclusión? \_\_\_\_\_

7. La constante de Stefan-Boltzman, que representaremos por  $\sigma$ , es  $\sigma=5,68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ . Identificar la ecuación que representa mejor la relación entre la temperatura y la intensidad:
- Intensidad/  $T^4 = \sigma$
  - Intensidad .  $T^4 = \sigma$
  - $T^4 / \text{Intensidad} = \sigma$

¿Cómo se llegó a esa conclusión? \_\_\_\_\_

8. Un Ingeniero de materiales necesita determinar la temperatura de un horno. Utilizando los conceptos presentados en esta actividad, ¿qué procedimientos recomiendan que realice?

---

---

---

### Post-Laboratorio

Actividad individual. Responde las siguientes preguntas sin utilizar el simulador.

1. Indique cuatro características o magnitudes que permitan diferenciar la luz que emite una lámpara de filamento y la luz que proviene de una estrella como Sirio.

---

---

---

---

2. Si la temperatura de un objeto se triplica, la intensidad de la luz:
- se hace 3 veces mayor.
  - disminuye en un tercio.
  - se hace 9 veces mayor.
  - aumenta 81 veces.
  - disminuye 81 veces.

Explique brevemente su razonamiento: \_\_\_\_\_

3. Cuando se calienta un metal, el mismo pasa por varias etapas emitiendo luz de diferentes "colores".

¿A cuál color le corresponde mayor temperatura?  rojo  azul

¿Cuál color presenta mayor intensidad?  rojo  azul

Explique brevemente su razonamiento: \_\_\_\_\_

4. El cuerpo humano tiene una temperatura aproximada de 36 °C. Entonces, ¿cómo explicas que no brillamos en esa condición?

---



---



---

5. ¿Qué variables físicas explican que es más peligroso exponerse a la luz del sol que a una bombilla de filamento?

---

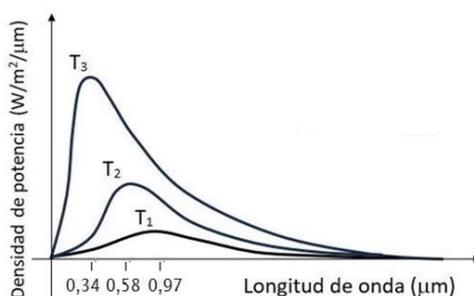


---



---

Las preguntas 6 y 7 se refieren a la siguiente gráfica.



6. Para la gráfica, ¿cuál de las opciones consideras correcta?
- $T_1 > T_2 > T_3$
  - $T_1 < T_2 < T_3$
  - $T_1 = T_2 = T_3$
  - Otra. Indique cuál: \_\_\_\_\_

7. Marque a cuál de las isotermas le corresponde mayor intensidad. T1 T2 T3

Ahora estamos en condiciones de responder:

**¿Cómo los científicos conocen la temperatura de las estrellas, aunque se encuentran muy lejos en el espacio?**