



## SIMULACIÓN DE LA RADIACIÓN ESPECTRAL DE CUERPO NEGRO A DIFERENTES TEMPERATURAS

(Black body spectral radiation simulation at different temperatures)

**Zoraida Morantes\***

Universidad del Zulia - Venezuela

** ngel Ochoa\*\***

Universidad del Zulia - Venezuela

**Ana Isabel Hern ndez\*\*\***

Universidad del Zulia - Venezuela

### RESUMEN

En esta investigación se generaron dos interfaces gráficas de usuario en Matlab, con la finalidad de ser utilizadas como material de apoyo en la enseñanza experimental de la Física Cuántica, para el análisis de la ley de radiación de Planck. Para ello, se realizó la comparación y validación de la funcionalidad de las interfaces como herramienta de simulación, con datos existentes relacionados con la radiación espectral de un cuerpo negro en el rango infrarrojo, visible y ultravioleta a diferentes temperaturas, demostrando gráficamente que el valor de longitud de onda donde ocurre el máximo de la distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro se desplaza a valores más pequeños en la medida que la temperatura se incrementa. Así mismo, se logró: obtener el valor de la intensidad total irradiada para dichas temperaturas a un valor particular de longitud de onda, demostrar gráficamente que la intensidad total irradiada por un cuerpo negro que corresponde al área bajo la curva se incrementa con la temperatura, obtener a partir de la información que ofrece la interfaz el valor de la constante de Planck  $h$  usando la Ley de Wien, graficar la distribución espectral del tungsteno para diferentes temperaturas comparando los resultados con las curvas teóricas y las obtenidas aplicando LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench). El trabajo fue abordado como una investigación documental (Arias, 1999), de tipo aplicada y evaluativa (Padrón, 2000). La validación de las interfaces permitió considerar su incorporación a un sistema multimedia que se está desarrollando en los Laboratorios de Física de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, y el Laboratorio de Física y Electrónica de la Universidad Rafael Belloso Chac n, con la finalidad de optimizar el aprendizaje y enseñanza de la física.

**Palabras clave:** Interfaz gráfica, radiación de cuerpo negro, longitud de onda, enseñanza de la física.

### ABSTRACT

In this research two user graphic interfaces in Matlab were generated, with the aim of being used as a support material in the experimental teaching of the Quantic Physics, for



the analysis of the Planck radiation law. For such a goal, a comparison and a validation of the interfaces functionality was carried out as a simulation tool, with existing data related to the body spectral radiation of a black body in the infrared range, visible and ultraviolet at different temperatures, showing graphically that the wave length value where occurs the maximum of the spectral radiation of a black body moves to lower values as long as the temperature increases. The same way, it was achieved the value of the total intensity irradiated for such temperatures to a particular value of the wave length, and it was demonstrated graphically that the total intensity irradiated by a black body that corresponds to the area under the curve is increased with the temperature, and obtain the value of the Planck constant using the Wien law departing from the information which offers the interface and to plot the tungsten spectral distribution for different temperatures comparing the results with the theoretical curves and the ones obtained applying LabView(Laboratory Virtual Instrument Engineering )The work was treated as a documental research (Arias 1999), of applied and evaluative type (Padron,2000). The interfaces validation allowed to consider its incorporation to a multimedia system which is being developed in the University of Zulia Engineering Faculty Physics Laboratory, and in the Rafael Beloso Chacín University Physics and Electronic Laboratory, with the aim of optimizing the teaching and learning of the Physics.

**Key words :** graphic interface, black body radiation, wave length , physics teaching.

\*Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Dpto. de Física. Lic. En Educación. Mención Matemática y Física. Magíster en Ciencias Aplicadas Área Física. Maracaibo-Venezuela. Estudiante del Doctorado Aprendizaje y Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias. Mérida-Venezuela [mzora59@yahoo.com](mailto:mzora59@yahoo.com).

\*\* Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Dpto. de Física. Ingeniero Mecánico. Master of Science in Physics . Maracaibo - Venezuela. [ochoaangel@hotmail.com](mailto:ochoaangel@hotmail.com)

\*\*\* Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Dpto. de Matemática. Lic. En Educación Mención Matemática y Física. Magíster en Matemática Mención: Docencia. Maracaibo-Venezuela. [anaisabel1010@hotmail.com](mailto:anaisabel1010@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de las leyes y conceptos que se estudian en la física, es fundamental la elaboración de trabajos prácticos con equipos reales, de forma que el alumno asimile adecuadamente, interprete y aplique los diversos contenidos establecidos en los programas de asignatura, dando sentido a una serie de formulismos matemáticos que parecieran carecer de significado físico. Al respecto, la experimentación interactiva con dispositivos del mundo real, actúa como complemento a la enseñanza de sistemas modelados matemáticamente, fomentando el interés de los estudiantes, y desarrollando aptitudes en ellos para resolver problemas físicos que por lo general, son tratados con muchas restricciones y alejados de los problemas reales.



Por este motivo, resulta importante la implementación de recursos informáticos, que permiten en el alumno lograr mayor comprensión de los eventos físicos estudiados, como el uso de hojas de cálculo, diseño de presentaciones didácticas, entornos de diseño gráfico, diseño de páginas Web, programas de ejercitación y autoevaluación, tutoriales interactivos, enciclopedias multimedia, simulaciones, laboratorios virtuales, laboratorio asistido por ordenador, en ausencia de equipos de laboratorio o como complemento de estos, para afianzar los contenidos teóricos estudiados en los cursos de física desarrollando en los estudiantes la capacidad de investigación, pensamiento crítico, análisis e interpretación de diferentes situaciones físicas.

En este mismo orden de ideas, Pontes (2005) señala que el uso de las TIC en la formación de los estudiantes en ciencias e ingeniería, les permite fomentar el aprendizaje de procedimientos científicos, el desarrollo de destrezas intelectuales de carácter general y de actitudes favorables al aprendizaje de la ciencia y la tecnología. Algunos de los muchos trabajos realizados sobre esta amplia temática (Rieber, 1994; Kelly & Crawford, 1996; Cortel, 1999) muestran la existencia de diversos tipos de recursos informáticos que contribuyen a desarrollar conocimientos procedimentales y destrezas como la construcción e interpretación de gráficos, la elaboración y contrastación de hipótesis, la resolución de problemas asistidos por ordenador, el manejo de sistemas informáticos de adquisición de datos experimentales, o el diseño de experiencias de laboratorio mediante programas de simulación de procedimientos experimentales.

Así mismo, Pontes (2005) señala que en los últimos tiempos los programas de simulación han adquirido un importante grado de desarrollo y aplicación en la educación científica, debido al avance progresivo de la informática y al perfeccionamiento cada vez mayor de las capacidades de cálculo y expresión gráfica de los ordenadores. Por otro lado, las simulaciones proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema determinado, de ahí su importancia en la enseñanza de la física, la tecnología, la biología, la astronomía, la medicina, la química, la geología y todas las ciencias en general, permitiendo visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran o al menos algunas consecuencias de tales interacciones (Martínez et al., 1994).

Este tipo de programas tienen importantes aplicaciones en la enseñanza de la ciencia cuando se utilizan en la presentación de situaciones no asequibles en la práctica o que pueden ser peligrosas, la idealización de las condiciones de un experimento, la representación de situaciones que requieren un equipo muy complejo, la utilización de modelos parciales del mundo real o de modelos completamente teóricos, la manipulación y el control de variables entre otras aplicaciones (Zamarro et al., 1997).

Experiencias previas realizadas en la cátedra de Física cuántica con el uso de simuladores (Von Pamel y Marchisio, 1999), sustentan que su empleo resulta adecuado para favorecer la comprensión de fenómenos que ocurren a escala microscópica;



asimismo, resaltan que otra gran ventaja que ofrecen algunos programas de simulación, por su potencialidad gráfica y de exploración a través de la posibilidad de controlar y manipular parámetros, es el establecimiento de conexiones teóricas entre la representación visual y la formalización matemática.

Por otro lado, el impacto de las TIC's sobre los nuevos escenarios de formación representa uno de los mayores cambios que haya tenido lugar en las instituciones educativas en las últimas décadas, donde los ambientes virtuales de aprendizaje, pretenden optimizar el aprendizaje y enseñanza de la física mediante el uso de espacios educativos diseñados pedagógica y tecnológicamente, respondiendo a las tendencias mundiales de desarrollo tecnológico, científico y cultural que utiliza las tecnologías de la información y la comunicación en los procesos de una transferencia efectiva del conocimiento.

En función a lo antes expuesto y en búsqueda de estrategias didácticas efectivas que se acoplen con los rápidos desarrollos científicos y tecnológicos, así como los alcanzados en la investigación cognitiva, los autores consideran que se deben utilizar estrategias que permitan el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, como complemento en las experiencias en el laboratorio y en los cursos de teoría de física, de tal forma que se establezca un ambiente que permita desarrollar actividades que involucren interacción con simulaciones, interacción con datos registrados del mundo real, incentivando a los estudiantes a la observación, manipulación e investigación de fenómenos naturales en una variedad de escenarios, como serían las aulas de laboratorio y los ambientes virtuales.

En tal sentido, con la finalidad de optimizar la enseñanza y aprendizaje de la física, un grupo de investigadores del departamento de física de la facultad de ingeniería de la Universidad del Zulia y de la Universidad Rafael Beloso Chac n, trabajan en la producción de materiales didácticos para la enseñanza experimental de la física aplicando las TIC, exponiendo en una primera etapa de este proyecto, el prototipo de dos interfaces gráficas de usuario diseñadas en lenguaje matlab, las cuales serán incorporadas a un multimedia que se implementar  como estrategia didáctica en la física.

Las interfaces gráficas de usuario que se presentan en esta investigación son utilizadas como material de apoyo en la enseñanza experimental de la Física Cuántica, como recurso para el análisis de la ley de radiación de Planck a través de ventanas gráficas interactivas, que se promueven como una estrategia didáctica, para establecer ambientes virtuales educativos. Estableciéndose como objetivo general, validar las interfaces gráficas de usuario en entorno Matlab, mediante el uso de datos existentes relacionados con la radiación espectral de un cuerpo negro en el rango infrarrojo, visible y ultravioleta a diferentes temperaturas. Así mismo, mediante el uso de la interfaz se pretende:



- Demostrar gráficamente que el valor de longitud de onda donde ocurre el máximo de la distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro, se desplaza a valores más pequeños en la medida que la temperatura se incrementa.
- Obtener la intensidad relativa irradiada por unidad de tiempo y de área, a una longitud de onda particular, de un cuerpo negro para diferentes temperaturas.
- Demostrar gráficamente que la intensidad total irradiada por un cuerpo negro, que corresponde al área bajo la curva se incrementa con la temperatura.
- Graficar la distribución espectral del tungsteno para diferentes temperaturas comparando los resultados con las curvas teóricas y las obtenidas aplicando LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)
- Obtener a partir de la información que ofrece la interfaz el valor de la constante de Planck  $h$  usando la Ley de Wien.

### Tipo de investigación

Según Arias, F. (1999), la investigación es documental, pues se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales u otros tipos de documentos, tales como material bibliográfico asociado con libros texto y documentos electrónicos. Asimismo, la investigación se refiere como contrastiva o evaluativa, cuyo producto final es un juicio acerca de la validez de una tecnología (Padrón, 2000).

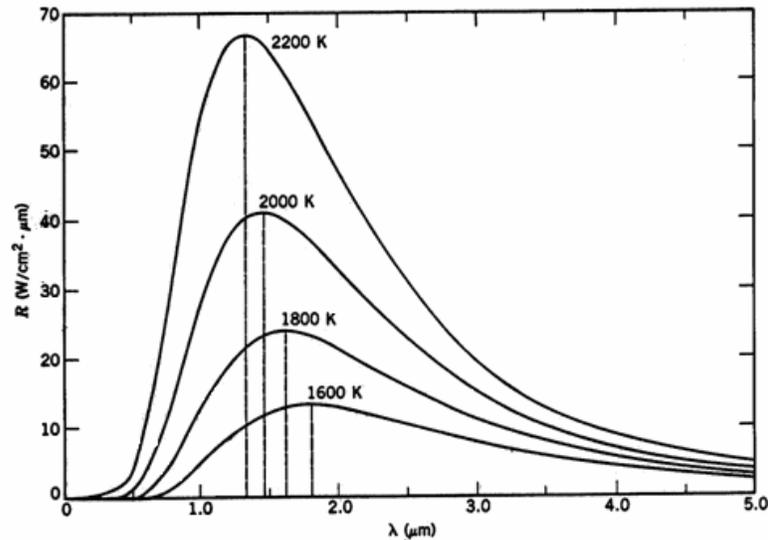
Además, la investigación desarrollada es aplicada, de acuerdo con Padrón (2000), ya que el producto final es una propuesta para la intervención social, representada en una herramienta didáctica basada en el uso de aplicaciones hipermedia, orientada a facilitar el análisis de la radiación de Planck.

### Radiación de cuerpo negro

El término de radiación se refiere a la emisión continua de energía desde la superficie de cualquier cuerpo, esta energía se denomina radiante y es transportada por las ondas electromagnéticas que viajan en el vacío a la velocidad de  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Las ondas de radio, las radiaciones infrarrojas, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, constituyen las distintas regiones del espectro electromagnético.

Según Sears, Zemansky (2005), un cuerpo negro es una superficie ideal que absorbe todas las longitudes de onda de la radiación electromagnética que le llegan, también es el mejor emisor posible de la radiación electromagnética de cualquier longitud de onda. La distribución espectral de la radiación procedente de un cuerpo negro se obtuvo experimentalmente y responde a una gráfica en forma de campana como la mostrada en la figura 1.

**FIGURA 1:** Distribución de la intensidad espectral de la radiación negra para diferentes temperaturas.



**Fuente:** Halliday D, Resnick R. Física Vol. 2. Tercera Edición. Compa a Editorial Continental, S.A. México. (1996). Pág. 479.

En 1900 existían dos fórmulas, ninguna de las cuales se podían ajustar a las curvas para la gama entera de longitudes de onda. La primera, debida originalmente a Lord Rayleigh, deducida luego independientemente por Einstein y modificada por James Jeans, se desarrolló rigurosamente de su base clásica. Desafortunadamente falla por completo en el ajuste de las curvas, no pasando ni siquiera por un máximo, ajustándose a las curvas bastante bien en la región de las longitudes de onda muy largas, mientras que no se ajustaba a la realidad para la región de ondas cortas (Eisberg R. 1974).

Wilhelm Wien también dedujo una expresión teórica para la radiancia espectral. La Ley de Wien, obtenida a partir de los principios de la Física clásica, coincide con los resultados experimentales sólo en la zona de las ondas cortas, pasa por un máximo, mientras que para la zona de las ondas largas estaba en contradicción con los resultados.

El problema antes mencionado acerca de las dificultades de la Ley de Wien y la fórmula de Rayleigh y Jeans se denominó "Catástrofe Ultravioleta" y represento una etapa de crisis para la Física de entonces. Max Planck buscando reconciliar estas dos leyes de la radiación, realizó una interpolación entre ellas que dio por resultado el ajuste de los datos para todas las longitudes de onda.

Planck era un experto en termodinámica y mecánica estadística, reconoció en 1900 que los descubrimientos empíricos sobre la distribución de energía de la radiación

negra, sólo se pueden entender cuantitativamente cuando se introduce una de las hipótesis ajenas fundamentalmente a la física clásica: La hipótesis de los cuantos. Un sistema radiante no puede intercambiar energía en porciones arbitrarias con el campo de radiación, sino solamente en múltiplos enteros del cuanto de energía  $h\nu$ , donde  $\nu$  es la frecuencia de la radiación y  $h$  una nueva constante de la naturaleza  $h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ . La hipótesis cuántica se justifica por sus éxitos: ella proporciona exactamente la distribución de energía medida de la radiación negra.

Históricamente, el nacimiento de la Mecánica Cuántica, se sitúa en el momento en el que Max Planck explica el mecanismo que hace que los átomos radiantes produzcan la distribución de energía observada. Max Planck sugirió en 1900 que:

- Los osciladores (de origen electromagnético) pueden tener solamente ciertos valores de energía discretos, determinados por  $E_n = nh\nu$ , donde  $n$  es un número entero.
- Los osciladores pueden absorber o emitir energía en cantidades que son múltiplos discretos del cuanto fundamental de energía el cual está dado por:  $\Delta E = h\nu$

La segunda hipótesis de Planck establece que la energía de los osciladores está cuantizada. La energía de un oscilador de frecuencia  $\nu$  sólo puede tener ciertos valores que son  $0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu$ . (Alonso M., Finn E. 1971).

En 1900 Max Planck, pudo deducir una función, que hoy se llama ley de radiación de Planck, que concordaba muy bien con las curvas experimentales de distribución de intensidad de radiación para un cuerpo negro, la cual permite obtener la emitancia espectral, que corresponde a la potencia por unidad de área por unidad de longitud de

onda, medida en unidades  $\left( \frac{W}{m^3} = \frac{W}{cm^2 \cdot \mu m} \right)$ , formulada por la ecuación:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \left( \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1} \right) \quad (1)$$

emitida en un rango de frecuencia entre  $\nu$  y  $d\nu$ , donde  $k = 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  es la constante de Boltzmann,  $h$  la constante de Planck,  $c$  es la velocidad de la luz,  $T$  es la temperatura absoluta y  $\lambda$  es la longitud de onda correspondiente a la energía emitida.

La longitud de onda  $\lambda_m$  en la que se produce el máximo de emisión viene dada por la ecuación (2) que describe la ley de Wien:



$$\lambda_m T = 2,898 \times 10^{-3} m.K = \frac{hc}{4,965k} \quad (2)$$

y la potencia a la cual una superficie emite energía radiante en todas las longitudes de onda, por unidad de área esta dada por la ley de Stefan-Boltzmann:

$$P(T) = 5.67 \times 10^{-8} T^4 \frac{W}{m^2 K^4} \quad (3)$$

### Interfaz gráfica de usuario en Matlab.

MATLAB ofrece desarrollar fácilmente un conjunto de pantallas (paneles) con botones, menús, ventanas, etc., que permiten utilizar de manera muy simple programas realizados dentro de este entorno. Este conjunto de herramientas se denomina interfaz gráfica de usuario (GUI) (graphical user interfaces). La elaboración de GUIs puede llevarse a cabo de dos formas, la primera de ellas consiste en escribir un programa que genere la GUI (script), la segunda opción consiste en utilizar la herramienta de diseño de GUIs, incluida en el Matlab, llamada GUIDE (Graphical User Interface development environment).

GUIDE permite realizar un conjunto de pantallas, con botones, menús, ventanas, etc., generando dos archivos con el mismo nombre para cada pantalla creada: un archivo con extensión *.m* y un archivo con extensión *.fig*. Estos archivos contienen toda la información básica de la interfaz, el archivo *.fig* contiene las características visuales de los elementos de cada pantalla y el archivo *.m* contiene la parte estructural de la misma, es decir, las funciones que ejecutan cada uno de los elementos que la conforman. Es a partir de esa función principal para cada pantalla, que se hace un llamado a otras funciones o subrutinas encargadas de realizar cálculos, operaciones o construir gráficos. (MATLAB. **The Language of Technical Computing**. Creating Graphical User Interfaces. Version 7)

La interfaz gráfica de usuario, es una interfaz generada con objetos gráficos como botones, campos de texto, menús. Estos objetos permiten al usuario interactuar con el ordenador, de forma que alguna acción realizada sobre un objeto cualquiera se traduce en un efecto correlativo. Por ejemplo, si se utiliza un slider, cuando éste se mueve cambia el valor de alguna variable, si se oprime un botón puede aparecer un cuadro de diálogo con información relevante para el usuario, etc.

Las aplicaciones que se pueden realizar utilizando GUIs son en general fáciles de aprender y usar, debido a que el usuario no necesita conocer de qué manera est n disponibles los diferentes comandos o como funcionan, claro esta, que el efecto que resulta de una determinada acción por parte del usuario, para lograr los objetivos propuestos y un aprendizaje eficaz, depende de un diseño adecuado de la interfaz.

### Actividades realizadas mediante las ventanas interactivas 1 y 2

Se diseñaron dos interfaces para estudiar la variación de la intensidad de radiación en función de la temperatura y la longitud de onda de un cuerpo negro. Ambas interfaces permitirán al usuario obtener la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro para los distintos intervalos de longitudes de onda del espectro electromagnético en las regiones del infrarrojo, luz visible y ultravioleta a una temperatura  $T$ . En la tabla No. 1, según Alonso y Finn (1987) se señalan estas regiones en  $\mu\text{m}$  ( $10^{-6}$  m).

**Tabla No.1: Intervalos correspondientes en el espectro electromagnético para las regiones: Infrarrojo, visible y ultravioleta.**

Región del espectro	Intervalo ( $\mu\text{m}$ )
Infrarrojo lejano	1000-30
Infrarrojo medio	30-3
Infrarrojo cercano	3-0.78
Visible	0.78-0.38
Ultravioleta	0.38-0.0006

**Fuente:** Alonso M, Finn E. Campos y Ondas.

En la tabla No. 2, reseñada por Franco, A. (2006), se indica la proporción de radiación en el infrarrojo, visible y ultravioleta emitida por un cuerpo negro a las temperaturas que se indican.

**Tabla No. 2: Distribución de radiación espectral de un cuerpo negro a diferentes temperaturas**

Temperatura (K)	% infrarrojo	%visible	%ultravioleta
1000	99.999	$7.367 \cdot 10^{-4}$	$3.258 \cdot 10^{-11}$
2000	98.593	1.406	$7.400 \cdot 10^{-4}$
3000	88.393	11.476	0.131
4000	71.776	26.817	1.407
5000	55.705	39.166	5.129
6000	42.661	45.732	11.607
7000	32.852	47.506	19.641
8000	25.565	46.210	28.224
9000	20.154	43.247	36.599
10000	16.091	39.567	44.342

**Fuente:** Jain P. IR, visible and UV components in the spectral distribution of blackbody radiation. Phys. Educ. 31 pp. 149-155 (1996).

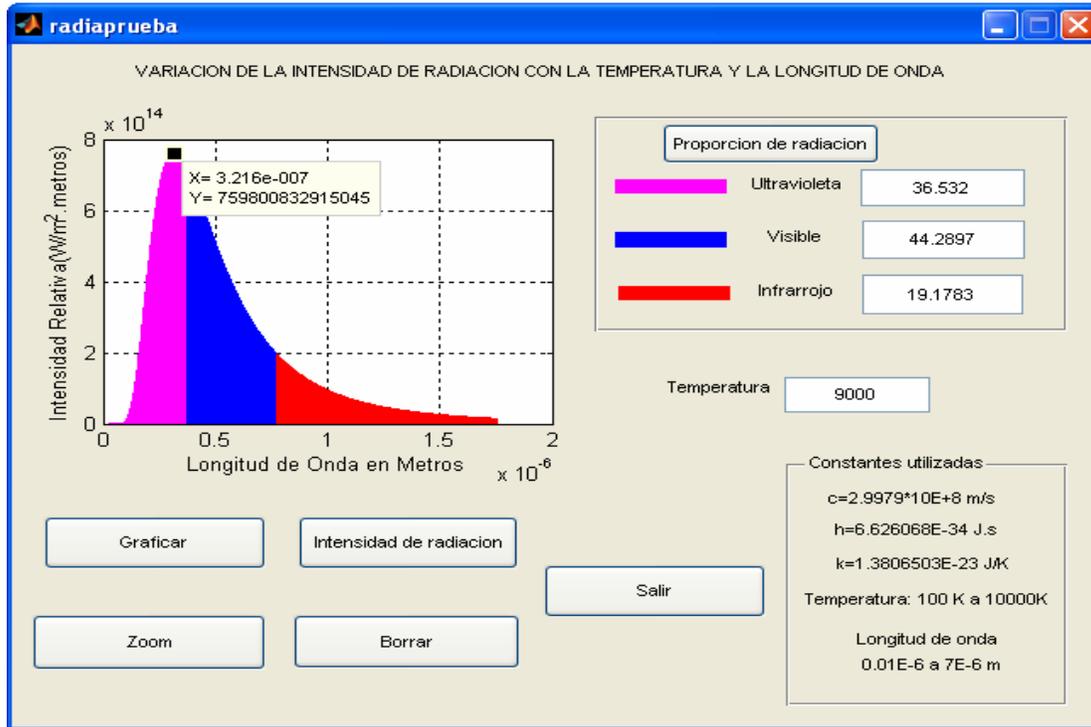


Para utilizar la interfaz 1, se introduce la temperatura absoluta en el control de edición titulado **Temperatura** y a continuación, se pulsa el botón **Graficar**. En la interfaz se traza la curva que describe la radiación de energía del cuerpo negro (eje vertical) en función de la longitud de onda (eje horizontal), para diferentes temperaturas, comprendidas entre 100 K y 10000 K. La altura  $I(\lambda)$  determina la cantidad de radiación emitida por unidad de tiempo y de área, a una longitud de onda particular y es igual al área bajo la curva, la cual representa la cantidad total de radiación emitida en todas las longitudes de onda; la interfaz permite conocer la proporción de la radiación que emite el cuerpo negro en el ultravioleta señalada en color violeta, la visible sombreada en color azul y la región infrarrojo indicada con color rojo a la temperatura indicada. Los valores de la intensidad de radiación  $I(\lambda)$  y de la longitud de onda correspondiente, en cualquier punto sobre la curva, se pueden conocer con mayor precisión mediante un cursor que se activa pulsando el botón de intensidad, así mismo, se puede obtener una ampliación de la gráfica pulsando el botón zoom, limpiar el área de trabajo al pulsar el botón **Borrar**, cerrar la interfaz al presionar el botón **Salir**.

En las siguientes figuras se muestran las interfaces realizadas en el entorno matlab en la cual se representa la intensidad relativa de la radiación emitida por un cuerpo negro al introducir el valor de la temperatura absoluta T. Puede observarse en las curvas mostradas, que la parte principal de la radiación se emite dentro de una banda relativamente angosta a ambos lados de la longitud de onda  $\lambda_m$  a la cual  $I(\lambda)$  es máximo, por lo que se puede caracterizar la calidad de la radiación en términos de la longitud de onda  $\lambda_m$  a la cual ocurre la máxima emisión.

La curva de la figura 2 representa la cantidad de radiación que emite en cada longitud de onda un cuerpo negro a la temperatura de 9000 K. Como el cuerpo emite en todas las longitudes de onda, constituye un espectro continuo. Se puede observar un cursor ubicado en la altura máxima de la curva, que indica la longitud de onda  $\lambda_m$  y la máxima intensidad de radiación, que se obtiene al pulsar el botón de intensidad en la interfaz, señalando un valor de intensidad máxima de  $7,60 \times 10^{14}$  W/m<sup>2</sup>.m, correspondiéndole un valor de longitud de onda  $\lambda_m$  de  $3,22 \times 10^{-7}$  m (0,322  $\mu$ m), el cual cae dentro del rango de la radiación ultravioleta (0.38-0.06  $\mu$ m), según lo indica la tabla 1. La interfaz también señala la proporción de radiación a dicha temperatura, correspondiéndole al ultravioleta un 36,53 %, al visible un 44,29% y al infrarrojo un 19,18%, los cuales se corresponden con los indicados en la tabla 2, mostrando de esta manera una alta funcionalidad de la interfaz 1.

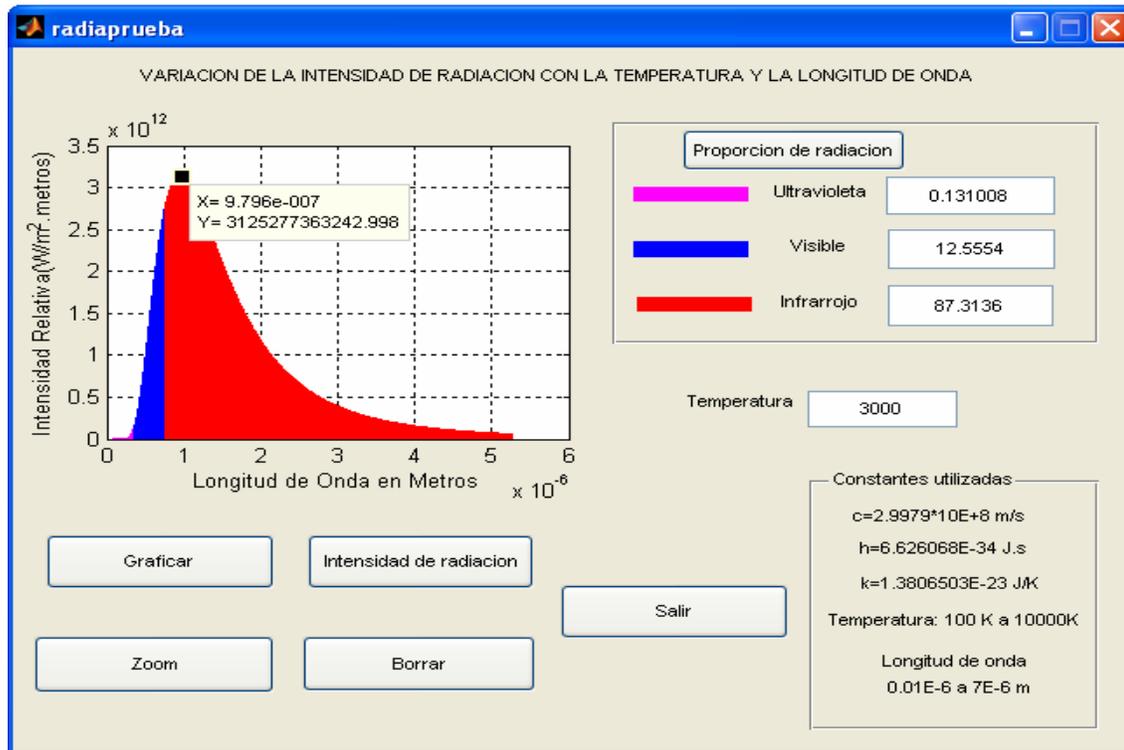
**Figura 2:** Ventana interactiva 1, radiación espectral de un cuerpo negro para un valor de temperatura de 9000 K, se observa una longitud de onda  $\lambda_m$  de  $3,22 \times 10^{-7}$  m para un valor máximo de intensidad de  $7,60 \times 10^{14}$  W/m<sup>2</sup>.m.



**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

En la figura 3 se aprecia, que para una temperatura de 3000 K, le corresponde una longitud de onda  $\lambda_m$  de  $9,796 \times 10^{-7}$  m ( $0,980 \mu\text{m}$ ), con un valor máximo de intensidad de radiación igual a  $3,125 \times 10^{12}$  W/m<sup>2</sup>.m. Obsérvese que el valor de longitud de onda  $\lambda_m$  para el máximo de intensidad, cae en la región del infrarrojo cercano, la cual cubre un intervalo de valores desde  $0,78 \mu\text{m}$  hasta  $3 \mu\text{m}$ , según lo indica la tabla 1. También se puede observar, que a una temperatura de 3000 K, un cuerpo negro emite luz en la región del espectro infrarrojo en un 87.313%, con proporción mayor que la radiación visible con un 12.555% y el ultravioleta con un 0.131%, estos valores dados por la interfaz se corresponden con los indicados en la tabla 2.

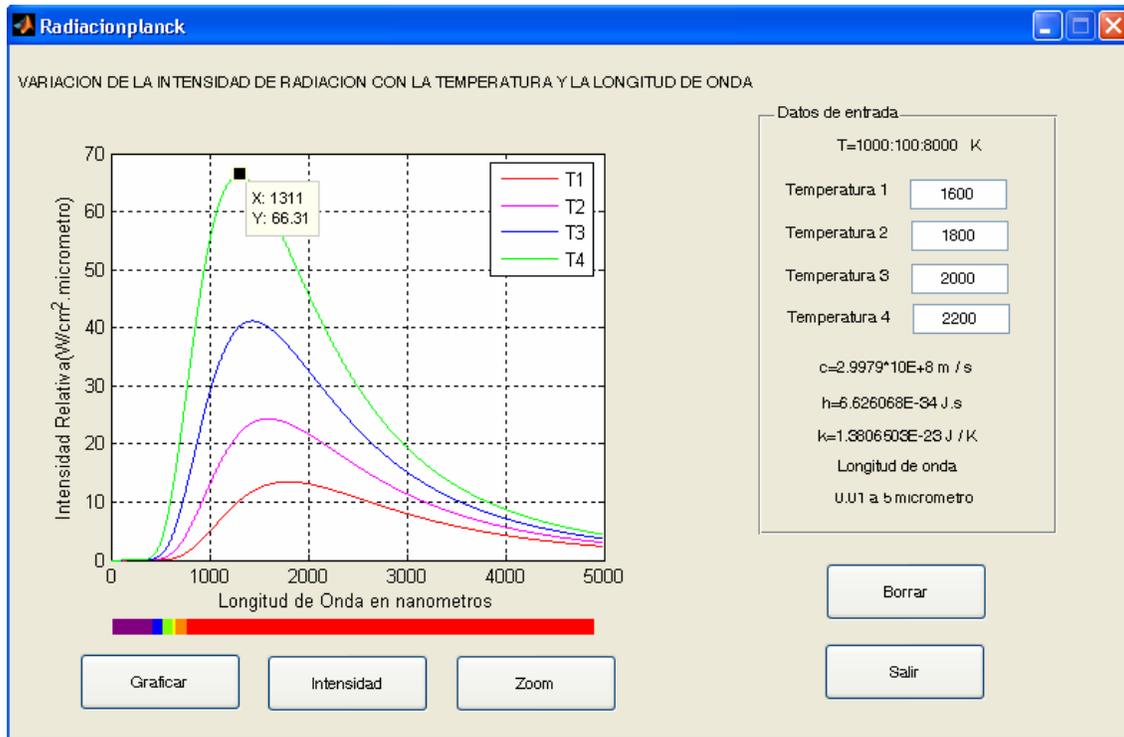
**Figura 3:** Ventana interactiva 1, radiación espectral de un cuerpo negro a una temperatura de 3000 K, se observa que para un valor máximo de intensidad de  $3,125 \times 10^{12} \text{ W/m}^2 \cdot \text{m}$  le corresponde una longitud de onda  $\lambda_m$  de  $9,796 \times 10^{-7} \text{ m}$ .



**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

La ventana interactiva 2 llamada Radiación Planck, se caracteriza porque se pueden representar simultáneamente en la pantalla varias curvas de intensidad correspondientes a diferentes valores de temperatura, facilitándole al usuario la comparación de los eventos e inferir sobre los resultados en forma conjunta. La figura 4 muestra las curvas de la radiación espectral de un cuerpo negro, obtenidas para las temperaturas 1600, 1800, 2000 y 2200 K, donde la curva de color verde representa el evento físico para una temperatura de 2200 K, con un valor de intensidad máximo de  $66,31 \text{ W/cm}^2 \cdot \mu\text{m}$ , y una longitud de onda  $\lambda_m$  de 1311 nm. Si se comparan las figuras 4 y 1, se observará que ambas describen de igual forma el evento físico descrito, lo cual también permite validar las ventanas interactivas propuestas en este artículo.

**Figura 4:** La ventana interactiva 2. Distribución espectral de un cuerpo negro para diferentes temperaturas simultáneamente: 1600 K, 1800K, 2000K, 2200K.

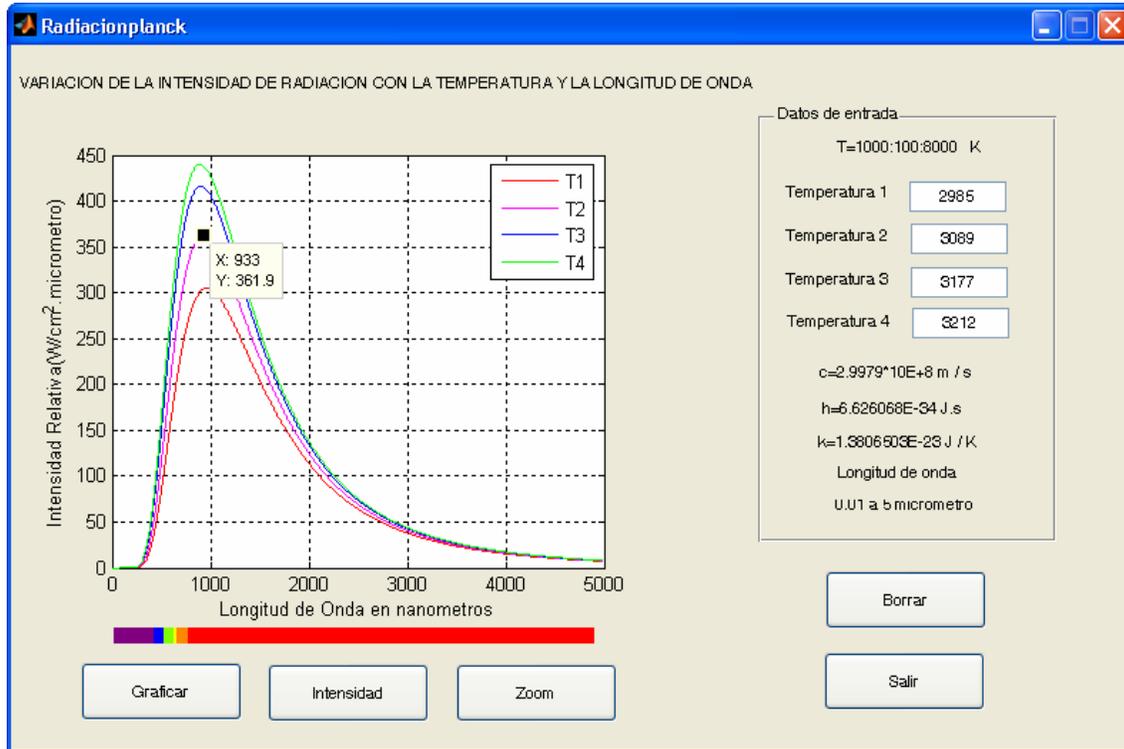


**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

La figura 5 muestra una simulación de la radiación espectral del tungsteno obtenida mediante la interfaz 2, para cuatro de los valores de temperatura indicadas en la tabla 3, con sus respectivos valores de longitud de onda  $\lambda_m$  correspondientes a la emisión máxima para cada temperatura.

La tabla 3 permite realizar una comparación con los valores obtenidos por Oliveros S., Acosta J. y Forero N. (2006), quienes realizaron el análisis espectral de radiación térmica de un filamento de tungsteno a partir de medidas obtenidas con un monocromador tipo Zerny-Turner, empleando instrumentos virtuales desarrollados con el lenguaje de programación gráfica LabVIEW, permitiendo verificar la ley de desplazamiento de Wien. Los resultados experimentales se contrastan con los obtenidos teóricamente de las leyes de radiación térmica y los señalados por la interfaz 2, al analizar el margen de error establecido, se permite fundamentar el uso de las ventanas interactivas que se presentan en esta investigación para el análisis de la radiación de Planck.

**Figura 5:** Distribución espectral del tungsteno para las temperaturas 2985 K, 3089 K, 3177 K y 3212 K.



**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

**Tabla No. 3: Longitud de onda  $\lambda_m$  a diferentes temperaturas, obtenidas aplicando los entornos Matlab y LabVIEW correspondientes a la Radiación térmica del tungsteno.**

LabVIEW		(Interfaz-Matlab)		Margen de error %
Temperatura ( $\pm 0,1K$ )	$\lambda_m$ ( $\pm 0,5nm$ )	Temperatura Absoluta	$\lambda_m$ (nm)	
2985,4	921,0	2985,0	960,0	4,23
3089,9	908,0	3089,0	933,0	2,75
3177,6	898,5	3177,0	902,0	0,38
3212,3	894,0	3212,0	893,0	0,11
3222,4	888,0	3222,0	895,0	0,78
3279,4	883,0	3279,0	878,0	0,56
3293,6	878,5	3293,0	870,0	0,96
3355,4	869,0	3355,0	852,0	1,95
3381,7	858,5	3381,0	846,0	1,45

**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

Obsérvese también, tanto en las figuras 4 y 5 como en la tabla 3, que al comparar los valores de  $\lambda_m$  correspondientes a las temperaturas indicadas, se evidencia que cuando la temperatura se incrementa, aumenta la intensidad de radiación descrita por el área bajo la curva y la longitud de onda  $\lambda_m$  que corresponde a la emisión espectral máxima, se desplaza hacia valores menores.

También puede apreciarse en la ventana interactiva 2 una barra de colores, la cual le permite al usuario observar visualmente, con mayor propiedad el corrimiento de las curvas para valores de temperatura bajos, hacia el infrarrojo (alta longitud de onda, baja frecuencia) y para valores altos de temperatura, hacia el ultravioleta (alta frecuencia, baja longitud de onda).

En la tabla 4 se observa que el producto entre  $\lambda_m$  y la temperatura  $T$  del emisor tungsteno es aproximadamente constante, medido en unidades de metros por grados kelvin ( $m.K$ ), lo cual permite demostrar mediante el uso de la interfaz la Ley de Wien, formulada en la ecuación 2. Se puede apreciar un margen de error aceptable para cada producto cuando se compara con el valor teórico de la constante igual a  $2,90 \times 10^{-3} m.k$ .

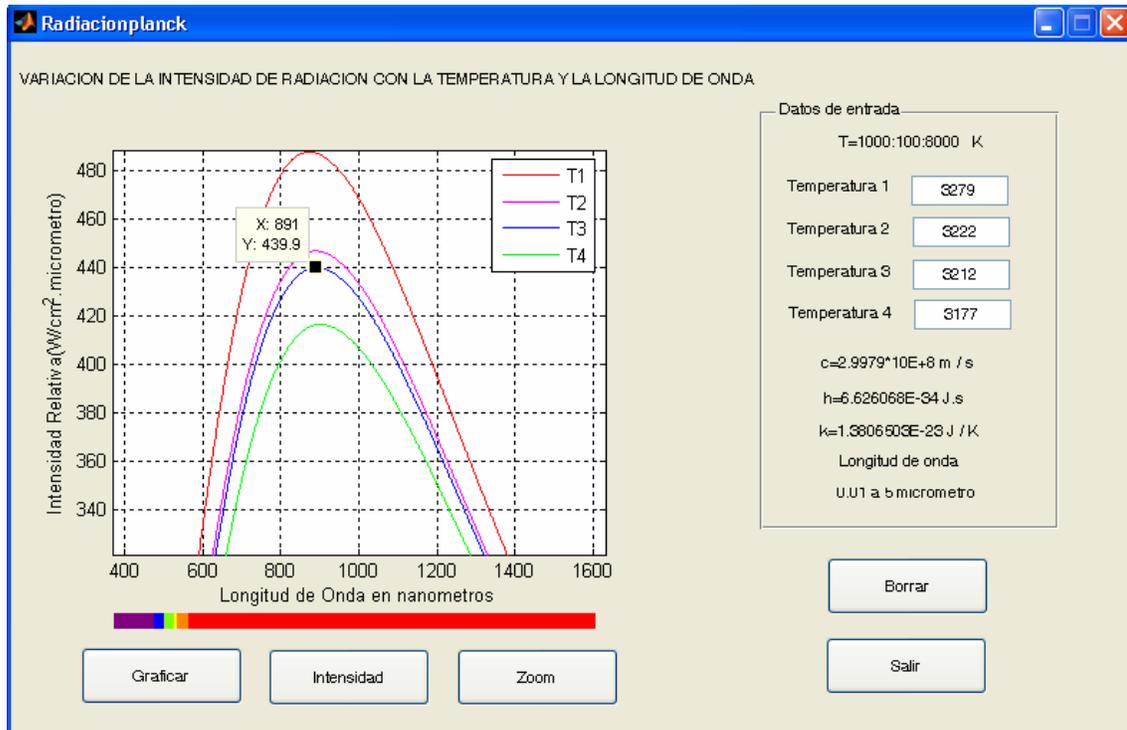
**Tabla No. 4: Relación entre  $\lambda_m$  y la temperatura para el tungsteno**

Temperatura	$\lambda_m$ (Interfaz-Matlab) $10^{-7} (m)$	$\lambda_m T$ $10^{-3} (m.K)$	Margen de error %
2985,0	9,60	2,86	1,37
3089,0	9,33	2,88	0,68
3177,0	9,02	2,86	1,37
3212,0	8,93	2,87	1,03
3222,0	8,95	2,88	0,68
3279,0	8,78	2,88	0,68
3293,0	8,70	2,86	1,37
3355,0	8,52	2,86	1,37
3381,0	8,46	2,86	1,37

**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

En la figura 6 se puede observar una ampliación de la gráfica, que se consigue cuando en la interfaz se pulsa el botón zoom. Esta aplicación permite ubicar con mayor precisión el cursor que indica los valores de la longitud de onda y la emisión espectral a lo largo de las curvas de radiación para cada temperatura.

**Figura 6:** Ampliación de la gráfica de la distribución espectral del tungsteno para las temperaturas 3279 K, 3222 K, 3212 K y 3177 K, al pulsar el botón zoom de la interfaz 2.



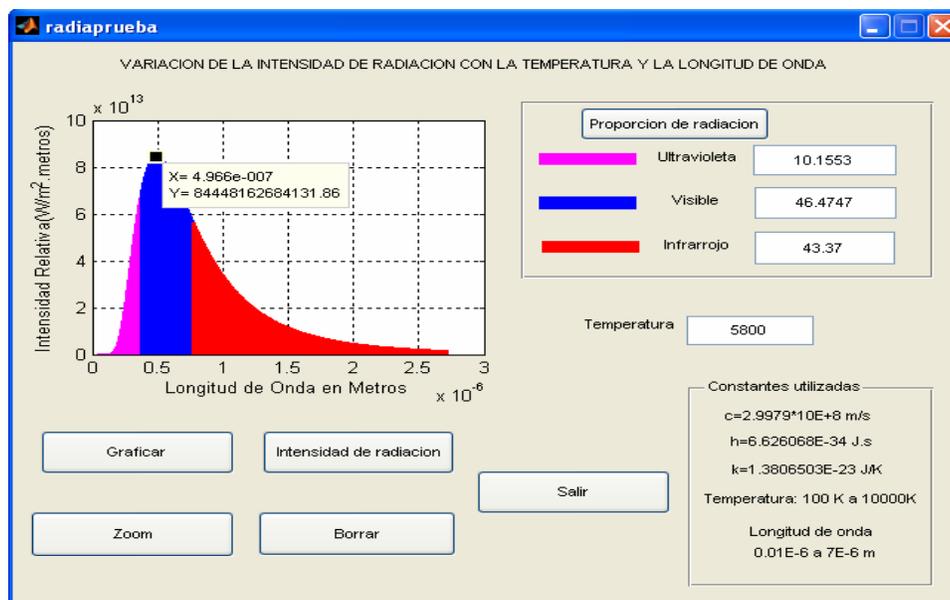
**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

Entre las actividades a realizar usando las interfaces diseñadas, cuyos resultados permiten también validar su diseño y aplicación para el estudio de la radiación de Planck, se tienen: determinar el valor de la constante de Planck y la longitud de onda  $\lambda_m$  correspondiente al valor máximo de intensidad de la radiación del sol, considerándolo como un cuerpo negro, a una temperatura de 5800K.

Para ello el usuario al trabajar con las ventanas interactivas 1 y 2 a partir de la ley de Wien, puede determinar el valor de la constante  $h$  de Planck, conociendo el valor de la longitud de onda  $\lambda_m$  comprobando que los valores obtenidos para  $h$  están próximos a  $6.63 \cdot 10^{-34}$  J.s. Ejemplo, a partir de los datos aportados por la ventana interactiva 1, en la figura (3), usando la ecuación  $\frac{hc}{\lambda_m KT} = 4,966$ , se consigue que  $h = 6.72 \cdot 10^{-34}$  J.s, con un margen de error de 1,36 %, al comparar con el valor teórico de la constante de Planck.

La figura 7 muestra la radiación espectral de la superficie del sol para una temperatura 5800 K, donde el valor de longitud de onda  $\lambda_m$  es igual a  $4,97 \times 10^{-7}$  m, con una emisión espectral máxima de  $8,445 \times 10^{13}$  W/m<sup>2</sup>.m, los cuales concuerdan con los datos teóricos (Sears F., Zemansky M., 2005). También se puede apreciar que la radiación del sol cuya superficie esta a una temperatura 5800 K, emite alrededor del 90% de su radiación total entre 0,1 y 3  $\mu$ m; (100 y 3000 nm), con una proporción de radiación mayor en el visible de 46,475%, un 43,37% en el infrarrojo y un 10,155% en el ultravioleta.

**Figura 7:** Radiación espectral de la superficie del sol para una temperatura de 5800 K



**Fuente:** Morantes Z, Ochoa A, Hernández A.

### Consideraciones finales

Se presentaron dos interfaces generadas utilizando el entorno Matlab, diseñadas para optimizar la enseñanza experimental de la física, las cuales fueron validadas por comparación de la información aportada a partir de las ventanas interactivas con datos existentes, relacionados con la radiación espectral de un cuerpo negro en el rango infrarrojo, visible y ultravioleta a diferentes temperaturas, sustentando de esta manera las potencialidades gráficas de las interfaces para el estudio de la ley de radiación de Planck.

Se demostró la funcionalidad de las interfaces:



- Demostrando gráficamente que el valor de longitud de onda donde ocurre el máximo de la distribución se desplaza a valores más pequeños en la medida que la temperatura se incrementa, tal como lo predice la teoría.
- Obteniendo la intensidad relativa irradiada por unidad de tiempo y de área, a una longitud de onda particular, de un cuerpo negro para diferentes temperaturas.
- Observando gráficamente que la intensidad total irradiada por un cuerpo negro, que corresponde al área bajo la curva se incrementa con la temperatura.
- Graficando la distribución espectral del tungsteno para diferentes temperaturas, usando la interfaz gráfica de usuario en entorno Matlab, la cual concuerda con las curvas teóricas y las obtenidas aplicando LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).
- Obteniendo a partir de la información que ofrece la interfaz el valor de la constante de Planck  $h$  con un margen de error de 1,36 %, usando la Ley de Wien.

Mediante la aplicación de estas interfaces se establecen actividades de un laboratorio virtual, dirigido a la enseñanza experimental de la Física como complemento a las actividades realizadas en un laboratorio real, o como una alternativa de la inexistencia de equipos de laboratorio, donde el usuario dispone de un entorno interactivo que les permite indagar, controlar variables, contando con todas las bondades que brinda el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. El uso de esta herramienta para la visualización gráfica de la distribución de radiación de un cuerpo negro, permitirá al alumno analizar y comprobar, la ley de radiación de Planck.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten la incorporación de las interfaces a un sistema multimedia que se está desarrollando, para ser aplicado como estrategia didáctica en el aprendizaje y enseñanza experimental de la física.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso M., Finn E. (1971). Fundamentos de la Física Cuántica. [Revisión del libro Física. Volumen III. Fundamentos Cuánticos y Estadísticos]. Fondo Educativo Interamericano, S.A. United Status of América. 7-12.
- Alonso, M., Finn, E. (1987). Espectro de radiación Electromagnética. [Revisión del libro Física. Volumen II: Campos y Ondas]. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA S.A., 791-795.
- Arias, F. El Proyecto de Investigación: Guía para su Elaboración. Tercera Edición. Caracas. 1999. Obtenido en Mayo 2008 en <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/proyecto-investigacion/proyecto-investigacion.pdf>



- Cortel, A. (1999). Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique*, 19, pp.77-87.
- Franco, A. (2006). Física con el ordenador. La radiación del cuerpo negro. Obtenido en Mayo 2008 en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm>
- Eisberg, R. (1974). La radiación térmica y el origen de la mecánica cuántica. [Revisión del libro *Fundamentos de Física Moderna*]. Editorial Limusa. México, 51-76.
- Halliday D, Resnick R. (1996). La luz y la Física Cuántica. [Revisión del libro *Física Volumen 2*]. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 477-483.
- Kelly G, Crawford T. (1996). Students' Interaction with Computer Representations: Analysis of Discourse in Laboratory Groups. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (7), pp.693-707.
- Martinez P. León, J. y Pontes A. (1994). Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), pp.30-38.
- MATLAB. The Language of Technical Computing.** Creating Graphical User Interfaces. Version 7. Obtenido en Septiembre de 2005 en <http://www.units.muohio.edu/mcs/univapps/area351/documentation/quantapps/MiamiOnly/Matlab/buildgui>.
- Oliveros S., Acosta J. Forero N. (2006). Análisis espectral de la radiación térmica del tungsteno utilizando LABVIEW. *Revista Colombiana de Física*. Vol. 38. No. 4, 1671-1674. Obtenido en Mayo de 2008 en: [http://calima.univalle.edu.co/revista/vol38\\_4/articulos/38041671.pdf](http://calima.univalle.edu.co/revista/vol38_4/articulos/38041671.pdf)
- Padrón, J. (2000). Bases del concepto de "investigación aplicada". Obtenido en Junio 2008 en: <http://padron.entretemas.com/InvAplicada/index.htm>
- Pontes A. (2005). Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* Vol. 2, Nº 1, pp. 2-18.
- Rieber L. (1994). *Computers, Graphics and Learning*. Madison WI: Brown y Benchmark,
- Sears F., Zemansky M., Young H., Freedman R., (2005). Espectros continuos [Revisión del libro *Física Universitaria con Física Moderna. Volumen II*]. Editorial Pearson y Addison Wesley, 1474-1478.
- Von Pamel, O., Marchisio, S. (1999). Los nuevos ambientes de aprendizaje en la educación universitaria: una experiencia de integración de tecnologías de la información al dictado de la asignatura Física IV en la Argentina, *Revista "La Universidad* Nº 17"; Secretaría de Políticas Universitarias - Ministerio de Cultura y



Educación. Obtenido en Abril de 2008 en: <http://portal.educ.ar/debates/eid/fisica/la-ecucion-de-onda-de-schrodinger-en-una-simulacion-para.php>

Zamarro, J, Hernández, A., Martín, E. y Hartel, H. (1997). Uso de las simulaciones en la construcción de conocimientos científicos. Enseñanza de las Ciencias, N° Extra, pp.273-274.

ESTE ARTICULO SERVIRÁ COMO SOPORTE PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TITULADO **"TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC's) EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL DE LA FÍSICA"** APROBADO POR EL CONDES EL 31-10-07 Y REGISTRADO CON EL N° VAC-CONDES-CH-1111-07.