

cia artificial..." de media se respondiera con un 4.2 en el caso de "... en esta asignatura?" y 4.6 en el caso de "... en alguna asignatura optativa/de último curso del Grado en Física?", lo que es muestra del interés por el alumnado por los contenidos de aprendizaje automático. En la Figura 2 se pueden observar resumidos los resultados.

Finalmente, la encuesta incluía un recuadro para incluir sugerencias o comentarios de forma optativa. Un estudiante hace referencia a la falta de tiempo para hacer estos ejercicios, diciendo en un caso que "le dedicamos una parte muy pequeña del semestre cuando realmente no estamos familiarizados con ello". Otro destaca que esta herramienta es "muy útil para pensar un poco menos en la programación y mucho más en la física detrás de los procesos con los que se trabaja". Otro se congratula del cambio de método pedagógico, frente al tradicional informe de práctica o trabajo ("me parece muy 'refrescante' que [...] se haya propuesto sustituir el enésimo informe que haríamos por algo distinto y más liviano"), y menciona que le haya motivado para aprender autónomamente sobre los contenidos de los ejercicios ("he acabado dedicando bastante tiempo a leer sobre ello solo movido por la propia curiosidad, cosa que llevaba mucho tiempo sin ocurrirme, y he conseguido comprender conceptos fundamentales a la par que importantes simplemente por el afán de saber").

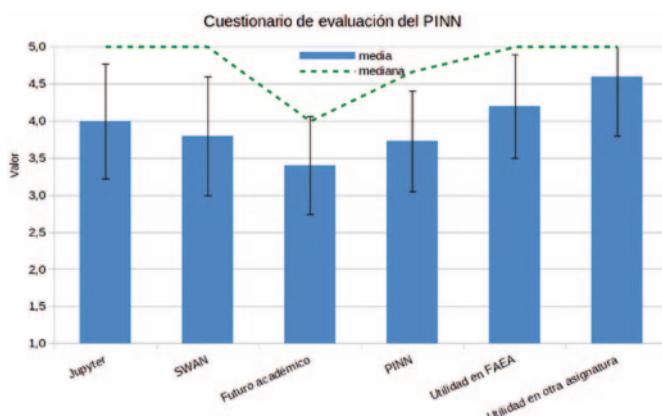


Figura 2. Gráfico de barras que muestra la media y la mediana de las respuestas a la valoración del uno al cinco de distintos aspectos del proyecto: los cuadernos Jupyter, SWAN, si cree que será útil para su futuro académico, el proyecto en general, la utilidad de contenidos de aprendizaje automático en la asignatura (Física de Altas Energías y Aceleradores) y la utilidad en otra asignatura.

Los comentarios recogidos vienen a corroborar en cierta forma algunas apreciaciones que ya hicimos en párrafos anteriores de esta sección, como el poco tiempo que finalmente dispusieron para hacer los ejercicios, frente al inicialmente contemplado. También el interés que suscitaron los contenidos en el alumnado y el hecho de que a través de estos cuadernos Jupyter ciertos aspectos de la física experimental de altas energías podrían ser más accesibles a quien los lee (y ejecuta).

Conclusiones

La retroalimentación recibida y explicada en la sección anterior, así como el desarrollo del propio proyecto, nos permite decir que lo hemos culminado de forma exitosa, a pesar de los impedimentos directos e indirectos de la pandemia por COVID-19.

SWAN y los cuadernos de Jupyter no constituyen una "revolución" para enseñar física experimental de altas energías,

ni mucho menos, ni tampoco constituyen una guía sobre la que hacer docencia de esta área científica. Sin embargo, hemos constatado que sí pueden ser buenas herramientas para ayudar en esta labor. Las buenas valoraciones recibidas nos animan a intentar explorar más utilidades de estas herramientas en cursos próximos.

Referencias

- [1] Página web oficial del proyecto Jupyter: <https://jupyter.org>
- [2] Página web oficial del CERN: <https://cern.ch>
- [3] Página web oficial de SWAN: <https://swan.web.cern.ch/>
- [4] Página web oficial de CERNBox: <https://cernbox.web.cern.ch/>
- [5] Página web oficial de EOS: <https://eos-web.web.cern.ch/>
- [6] Página web oficial de ROOT: <https://root.cern.ch/>
- [7] Página web oficial de CernVM-FS: <https://cernvm.cern.ch/portal/filesystem>
- [8] Portal oficial de ciencia abierta del CERN: opendata.cern.ch
- [9] Portal oficial de OpenUp2U: <https://up2university.eu/open/>
- [10] CMS Collaboration, "The CMS experiment at the CERN LHC", *JINST* 3 (2008) S08004, doi:10.1088/1748-0221/3/08/S08004.
- [11] Analysis of Higgs boson decays to two tau leptons using data and simulation of events at the CMS detector from 2012 [<http://opendata.cern.ch/record/12350>].

La cámara termográfica: una fascinante visión de la física



Una imagen vale más que mil palabras
(Aforismo popular)

Las cámaras termográficas son un innovador recurso didáctico que permite visibilizar y mejorar la comprensión de fenómenos relacionados con la materia, la temperatura y la energía térmica. Para mostrar las aplicaciones de esta tecnología, las demostraciones didácticas se complementan con ejemplos prácticos relacionados con las inspecciones que realizan los técnicos con el fin de localizar problemas en edificios (sobrecalentamiento en conexiones y sistemas eléctricos, fugas de agua y filtración de humedades, pérdidas de calor y aislamientos deficientes) y tramitar certificados de eficiencia energética.

La cámara termográfica en el aula

La facilidad de manejo de las cámaras termográficas (térmicas o de infrarrojos), y su precio cada vez más asequible, hace muy recomendable que los docentes aprovechen este nuevo

recurso tecnológico que facilita su trabajo y fomenta la innovación. Por un lado, mejora la comprensión de fenómenos en los que están implicados transferencias de energía térmica, mediante la asombrosa perspectiva infrarroja. Por otro lado, estimula la curiosidad y ganas de aprender del estudiante, e impulsala la generación de vocaciones científicas.

La cámara termográfica puede ser utilizada para analizar e investigar procesos térmicos empleando distintas metodologías. Ya sea mediante la proyección de imágenes en pantalla grande a toda la clase, o de forma personalizada, acercando la pantalla de la cámara a grupos reducidos. De esta forma, puede ser útil tanto en el aula, como ilustración a las explicaciones, como en el laboratorio, para realizar experiencias, o en cualquier otro espacio, para realizar investigaciones de campo. Si bien el manejo de la cámara es muy sencillo, para interpretar las imágenes térmicas es recomendable realizar previamente un curso básico de formación, ya que son varios los factores que pueden influir en su análisis correcto (emisividad, atenuación, reflexiones, etc.).

Los contenidos incluidos en las experiencias (efecto Joule, cambios de estado, transferencias de energía térmica, efecto invernadero) se encuentran, en diferente grado de profundidad, dentro de los currículos de la asignatura de Física y Química, desde los primeros cursos de la ESO hasta los de Bachillerato, por lo que las actividades mostradas son susceptibles de ser aprovechadas por el docente en diferentes niveles. Especialmente, en asignaturas como Ampliación de Física y Química de 4.º de la ESO, normalmente de grupo reducido e impartido en el laboratorio, la más adecuada para desarrollar proyectos científicos.

Con el fin de divulgar el trabajo realizado por los escolares, una interesante opción es mostrarlo, en forma de carteles ilustrativos, en una exposición organizada en un espacio común del centro educativo y presentarlo en ferias científicas divulgativas (Figura 1), donde los propios alumnos actúan de monitores frente al público y compañeros, enseñando lo aprendido.



Figura 1. Alumna mostrando aplicaciones de la termografía durante el VI Finde Científico, MNCYT de Madrid.

¿Cómo funciona una cámara termográfica?

Toda la materia, incluso la que se encuentra a temperatura tan baja como el hielo, al estar por encima del cero absoluto de temperatura, emite radiación infrarroja. Pero nuestros ojos no la puedan ver, al igual que sucede con la mayor parte del espectro electromagnético (ultravioleta, rayos X, etc.). A mayor temperatura mayor radiación infrarroja emitida (Ley de Stefan-Boltzmann). Las cámaras termográficas ofrecen la oportunidad de visibilizar la radiación infrarroja que emite la superficie de los cuerpos, mostrando una imagen con distintas gamas de color, que se corresponden con la diferente distribu-

ción de la radiación infrarroja y de la temperatura. Cada pixel corresponde a un valor de temperatura, al que se le asocia un tono determinado. El modelo de cámara utilizado (Flir i7) tiene una sensibilidad térmica de $0,1^\circ\text{C}$ y una resolución de 140×140 , equivalente a utilizar 19.600 termómetros simultáneamente. Entre los modelos más económicos se encuentran las minicámaras térmicas (sin pantalla propia) conectables al puerto USB de teléfonos smartphones (Flir One, sobre 300 €) y las compactas de bolsillo (Flir Cx-3, alrededor de 600 €).

En este tipo de cámaras termográficas el funcionamiento es semejante. La radiación infrarroja que emiten los cuerpos (a) es recibida por la cámara a través de una lente especial de germanio que permite su paso (b). La lente enfoca la radiación sobre un detector de infrarrojos (c), que envía la información a un sensor (d), el cual convierte los datos en una imagen dentro del espectro visible, en la que la escala de colores refleja las distintas intensidades de radiación infrarroja y de temperatura. La imagen puede verse en una pantalla LCD (e), junto a la temperatura puntual, el rango de temperatura y la escala de temperatura en función del color (Figura 2).

El software disponible ofrece diferentes herramientas y paletas de color para visualizar y analizar mejor las variaciones térmicas. En las figuras mostradas se han empleado paletas donde el color azul indica la temperatura más baja y el blanco o rojo la más alta.

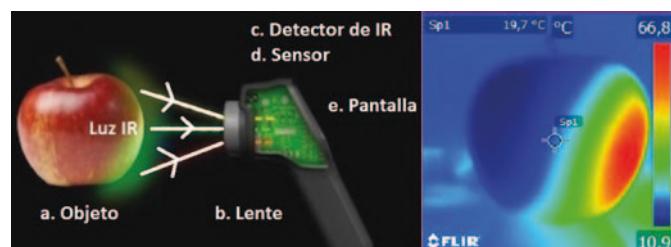


Figura 2. Cámara Flir i7 e imagen termográfica de una manzana calentada por una lámpara incandescente: la zona roja, indica la temperatura máxima (67°C) y la zona azul, la mínima (11°C).

Las imágenes se almacenan, incluyendo todos los datos de temperatura, en una tarjeta mini SD que permite transferir toda la información a un ordenador, mediante interfaz USB, para su tratamiento y posterior análisis.

La termografía, además de ser muy práctica en medicina y veterinaria para detectar de forma rápida y no invasiva fiebre, lesiones, inflamaciones, puntos de dolor y tumores superficiales, tiene aplicaciones en numerosos sectores, como investigación, industria, eficiencia energética, seguridad, vigilancia y docencia [1].

A continuación, se muestran algunas experiencias que pueden ser útiles a los docentes que se inicien en esta sorprendente tecnología.

Visibilización del efecto Joule e inspección eléctrica

En todos los dispositivos conectados a un enchufe eléctrico, una parte de la energía eléctrica se transforma en energía calorífica, debido a colisiones de los electrones con los átomos del conductor, lo que se traduce en un aumento de la temperatura (Efecto Joule). En la imagen termográfica de la Figura 3 se muestra cómo el cargador de un teléfono móvil presenta mayor temperatura (35°C) que el resto de conexiones a la misma toma (sobre 20°C). La cantidad de calor liberado por el

circuito es una media del trabajo que ha realizado. Joule comprobó que el trabajo eléctrico es proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente, a la resistencia y al tiempo que esté conectado el circuito. Como la mayoría de los móviles trabajan a un voltaje de 5 V, y su resistencia es similar (el material, la sección y la longitud del conductor son semejantes), la intensidad es la magnitud que afecta a la energía calorífica disipada al medio ambiente por un cargador. Los dispositivos inalámbricos de carga no necesitan conectarse directamente, pero disipan más energía térmica y, por tanto, son menos eficientes.

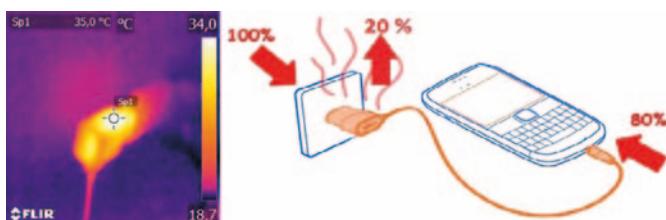


Figura 3. Efecto Joule de recalentamiento en el cargador de un teléfono.

La rapidez con la que se carga un teléfono también depende de la intensidad. Así, un cargador de teléfono móvil que lleve la inscripción de salida (*output*) 5,0 V y 1,0 A, tendrá una potencia de salida de 5 W (Potencia = Voltaje · Intensidad = $5\text{ V} \cdot 1,0\text{ A} = 5\text{ W}$), lo que corresponde a una carga de 5 julios por cada segundo que está conectado el cargador. Si la intensidad se duplica, la energía que suministra por segundo se duplica, por lo que se cargará en menos tiempo, pero disipando más energía térmica.

Como aplicación al mundo profesional, los alumnos pueden realizar con la cámara de IR una inspección de instalaciones eléctricas del instituto (equipos, cuadros eléctricos, transformadores, fusibles, enchufes, tomas de corriente, etc.) para detectar calentamientos excesivos debido a malas conexiones, sobrecargas de tensión, recalentamientos en fusibles, que conllevan riesgos de cortocircuitos e incendios. En la imagen termográfica de la Figura 4, se observa un punto caliente (34°C) en la conexión de un diferencial de un cuadro eléctrico, comparado con los otros que indican menor temperatura (26°C). Esta anomalía indica que es necesario revisar la línea regulada por el dispositivo sobrealentado para evitar problemas mayores.

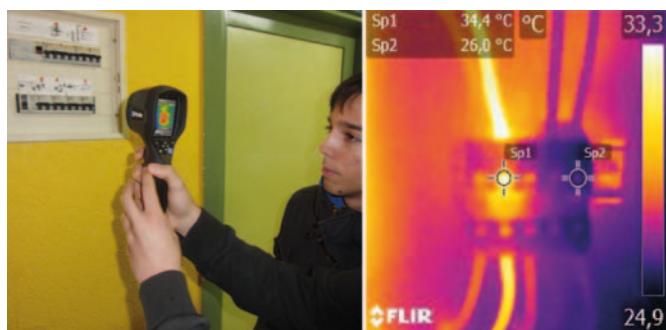


Figura 4. Inspección de un cuadro eléctrico y ejemplo de línea sobrealentada.

Visibilización de la evaporación y detección de humedades

Con la cámara infrarroja, los estudiantes pueden visualizar de forma creativa variaciones de energía térmica y tempe-

ratura asociados a los cambios de estado, como consecuencia de la absorción o desprendimiento de energía térmica que se produce en su entorno [2]. Así por ejemplo, al dibujar con un pincel mojado en agua sobre una hoja de papel (Figura 5), a simple vista no veremos nada. Sin embargo, con la cámara térmica se aprecia una intensa coloración en la zona humedecida, que se corresponde con una disminución de la temperatura superficial, pasando de una temperatura ambiente de 20° C a 17° C . Este efecto se debe a la evaporación de las moléculas de agua en la zona donde se ha trazado el dibujo y es el responsable de la sensación de frescor que sentimos al evaporarse el sudor, proceso que mantiene constante la temperatura del organismo.

Si el dibujo se realiza con un pincel impregnado en etanol, se produce un efecto refrigerante de diferente intensidad, y la temperatura que muestra el dibujo trazado es todavía más baja (14° C).



Figura 5. Diferente efecto refrigerante de la evaporación del agua y del etanol, mostrado en la V Jornada Con Ciencia en la Escuela, Círculo de Bellas Artes de Madrid.

Aunque el etanol presenta un calor de vaporización ($879\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) bastante menor que el del agua ($2257\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$), en la imagen termográfica se aprecia un mayor descenso de temperatura en su dibujo, a pesar de que absorbe menos energía térmica. Este resultado, aparentemente contradictorio, se explica por la mayor volatilidad del etanol, que se evapora mucho más rápidamente que el agua. Si midiésemos el calor total absorbido por la evaporación del agua sería mayor que el calor total absorbido por la misma masa de etanol. Si el dibujo se pinta con un líquido no volátil, como la glicerina o el aceite, al ser despreciable su evaporación, no se detecta variación de temperatura en la imagen térmica.

Como aplicación al mundo laboral, los alumnos pueden realizar con la cámara inspecciones reales en las instalaciones del instituto, con el fin de detectar filtraciones de humedad y fugas de agua no visibles a simple vista, sin necesidad de romper paredes o destrozar el suelo. De esta forma es posible prevenir graves daños (inundaciones, cortocircuitos, corrosión, derrumbamientos, etc.) e importantes pérdidas económicas. En la imagen termográfica de la figura 6 se detectan en el techo de una sala diferencias de temperatura de 6° C (máxima de 31° C y mínima de 25° C). Las zonas de menor temperatura indican la presencia de humedad debida al agua, que al evaporarse a través del techo absorbe energía del entorno, enfriando la superficie que impregna. En este caso, es recomendable revisar las tuberías de agua y desagües, que son la causa de muchas filtraciones y condensaciones, así como comprobar el aislamiento y la impermeabilización de paredes y techo.



Figura 6. Detección de filtraciones de agua no visibles a simple vista.

Visibilización de fugas térmicas y análisis de eficiencia energética

Los materiales clasificados como malos conductores del calor, o aislantes térmicos, se caracterizan porque ofrecen mucha resistencia al paso de la energía térmica, por ello son adecuados para reducir sus fugas en distintas situaciones. Por ejemplo, si queremos conservar la leche caliente con un calentador eléctrico hay que mantenerlo encendido, gastando energía y cediendo buena una parte al entorno. Pero si la introducimos dentro de un recipiente de material aislante (termo) se mantiene la temperatura durante mucho tiempo, no siendo necesario consumir energía. Otro ejemplo cotidiano de aislante térmico lo encontramos en la ropa, que evita el enfriamiento del cuerpo cuando la temperatura ambiente es inferior a la del organismo. La cámara termográfica permite comparar de una forma rápida la eficacia aislante de diferentes tejidos utilizados, tanto en la ropa normal como en prendas térmicas específicas para combatir las bajas temperaturas, que reducen la transferencia de energía calorífica con el ambiente y evitan que el cuerpo se enfríe. En la imagen termográfica de la Figura 7 se detecta cómo la pérdida de energía térmica es mucho mayor en la mano con guante normal de poliéster (31°C) que en la mano con guante de esquí de tejido técnico (25°C), siendo la temperatura ambiente de 21°C.

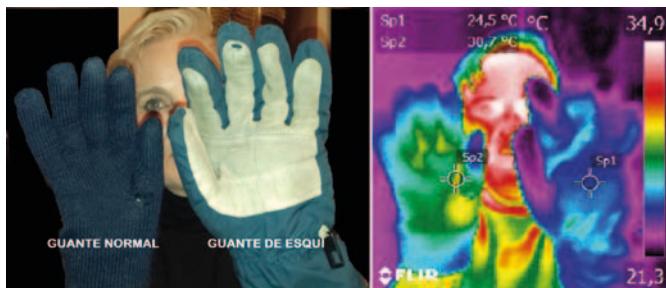


Figura 7. Comparativa del aislamiento térmico entre dos guantes de diferente tejido: el guante de esquí es mejor aislante del calor y evita las fugas térmicas de las manos.

De forma semejante a lo que sucede con el termo y los guantes, ocurre con el aislamiento y consumo energético de las viviendas. Cuando están bien aisladas, nos protegerán tanto del frío en invierno como del calor en verano, evitando un excesivo consumo de energía en la calefacción o el aire acondicionado. Los técnicos que realizan auditorías energéticas de edificios utilizan las cámaras termográficas para detectar fugas térmicas debidas a un aislamiento deficiente en puertas y ventanas, lo que disminuye la eficiencia

energética de la instalación. Como aplicación práctica, los alumnos pueden realizar con la cámara una inspección de sistemas de cerramientos del instituto para detectar fugas de energía y así poder mejorar el rendimiento energético de la calefacción [3]. En la imagen térmográfica de la Figura 8, tomada un día en que la temperatura ambiente era de unos 5°C, se observan zonas de fugas térmicas en las ventanas (11°C), siendo bastante menores cuando las persianas están bajadas (7°C). La causa de las fugas es un deficiente aislamiento de los sistemas y materiales empleados, que se traduce en pérdidas económicas al tener que quemar un exceso de combustible en la calefacción para compensar las pérdidas de energía calorífica y mantener una temperatura constante en el interior de las instalaciones. Para optimizar la eficiencia energética y reducir fugas de energía, es recomendable mejorar el aislamiento de las ventanas, instalando un sistema de doble acristalamiento con cámara de aire o gas argón.

En la misma fachada, se detectan entre las plantas unas franjas horizontales que corresponden a pequeñas fugas térmicas procedentes de las tuberías generales de agua caliente de la calefacción, causadas por un deficiente aislamiento.

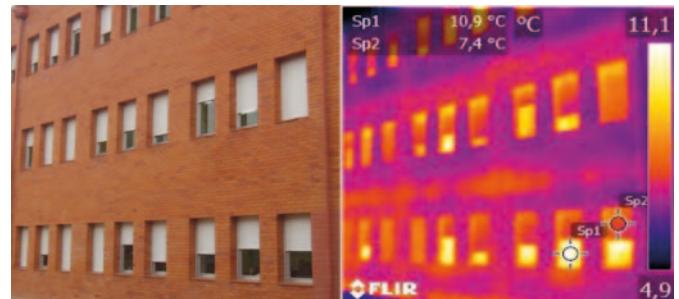


Figura 8. Fugas de energía térmica a través de las ventanas de las aulas.

Visibilización del efecto invernadero

Los materiales transparentes, como el vidrio de una ventana o las lentes de unas gafas, dejan pasar la luz visible, pero no son transmisores de la radiación infrarroja, la mayor parte de esta radiación es reflejada. La cámara térmica solo puede medir la temperatura de la superficie del vidrio, no de la que hay detrás de él, siendo necesario un contacto visual directo con el objeto para obtener su imagen térmica. Sin embargo, las longitudes de onda de la radiación infrarroja sí pueden atravesar finas láminas de plástico negro, como el utilizado en las bolsas de basura, pero absorben las longitudes de onda de la luz visible, y como resultado son opacas a la visión normal. Por esta razón, las cámaras de IR son muy eficaces para rescatar personas atrapadas por el humo de un incendio o desorientadas por la niebla en la montaña.

El proceso por el que la mayor parte de la radiación emitida por el Sol penetra a través de un vidrio, y es absorbida por los materiales del interior que al calentarse emite radiación infrarroja, es el fundamento del denominado efecto invernadero. Una parte de la radiación absorbida por el vidrio es radiada hacia el interior, lo que hace que aumente la temperatura respecto al exterior.

El efecto invernadero se puede comprobar introduciendo dos coches iguales en dos vasos de plástico transparente, uno de ellos con la parte superior recortada y abierta, y colocándolos cerca de una bombilla de incandescencia encendida

de 100 W. Al cabo de una hora, la imagen térmica (Figura 9) muestra cómo el coche del vaso cerrado alcanza mayor temperatura (42°C) comparado con el situado dentro del vaso abierto (39°C), que permite salir a parte de la radiación infrarroja y del calor por convección.



Figura 9. Demostración del efecto invernadero: el coche del interior del vaso cerrado alcanza mayor temperatura que el coche situado dentro del vaso abierto.

Es posible comprobar la diferente absorción de radiación IR entre el aire y un gas de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, a partir de un globo lleno de aire y otro de CO_2 , gas obtenido de un cartucho de sifón para carbonatar bebidas. Para ello, detrás de cada globo se colocan sendos muñecos de plástico, previamente introducidos en un frigorífico durante una hora para que estén a la misma temperatura. En la imagen térmica (Figura 10) se observa cómo la temperatura aparente que marca la superficie del muñeco situado detrás del globo lleno de CO_2 (15°C) es menor que la del muñeco colocado detrás del globo de aire (14°C), lo que indica que el CO_2 ha absorbido mayor cantidad de radiación infrarroja. Resultado lógico, si tenemos en cuenta que los principales gases que constituyen el aire (nitrógeno, oxígeno, argón) no absorben ni emiten radiación IR.

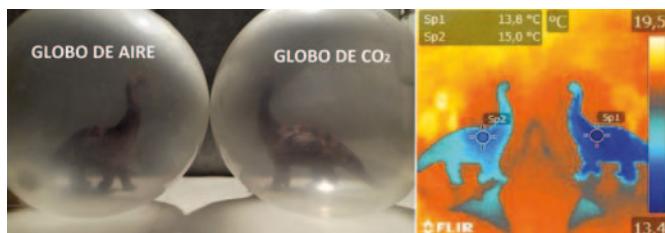


Figura 10. Comparativa de la absorción de la radiación IR entre el aire y el dióxido de carbono: el CO_2 absorbe mayor cantidad de radiación IR.

Los sensores de CO_2 utilizados para comprobar la correcta ventilación de estancias, y controlar la propagación de epidemias como la COVID-19, constan de un emisor de radiación infrarroja y un receptor que recibe la radiación atenuada de forma proporcional a la concentración de CO_2 contenido en el aire.

Estas, y otras demostraciones termográficas que se pueden consultar en las referencias [4], han sido expuestas en diferentes eventos: al público en general, en el stand de la RSEF durante la Feria Madrid por la Ciencia y la Innovación 2019 (IFEMA), a los docentes, en un taller patrocinado por la RSEF durante las X Jornadas de la Enseñanza de la Física (Caixaforum-Madrid), y presentadas al XVI Concurso Ciencia en Acción, donde obtuvieron el primer premio en la sección Demostraciones de Física.

Conclusiones

La existencia en el mercado de modelos de cámaras termográficas cada vez más económicas hace que sea una buena ocasión para que los docentes incorporen a sus departamentos didácticos este instrumento científico con un gran potencial para la docencia de la física en ESO y Bachillerato. Las aplicaciones de la cámara son numerosas, lo que permite su aprovechamiento dentro del aula, en el laboratorio o en cualquier otro espacio.

A partir de la visión infrarroja, no solo se consigue mejorar la comprensión de determinados fenómenos físicos relacionados con el calor, sino también aumentar la motivación e interés del estudiante hacia la física, contribuyendo a la mejora de resultados y al incremento en el número de alumnos que optan por la modalidad del bachillerato científico. Este interés de los estudiantes igualmente se refleja en su deseo de participar como monitores en ferias de ciencia para transmitir la importancia y el atractivo de esta tecnología. Por todo ello, podemos concluir que la cámara térmica es un fascinante recurso para la didáctica y divulgación de la física que no debería faltar en ningún centro de enseñanza preuniversitaria.

Referencias

- [1] M. VOLLMER y K. MöLLMANN, *Termografía infrarroja: fundamentos, investigación y aplicaciones* (Ed. Universita Politècnica de València, 2013).
- [2] TVE. Programa Órbita Laika, “¿Cómo funciona y para qué se emplea una cámara termográfica?”, (2015). <https://www.rtve.es/alacarta/videos/orbita-laika/orbita-laika-demostracion/3302499/>
- [3] C. XIE y E. HAZZARD, “Infrared imaging for inquiry-based learning”. *The Physics Teacher* 49, 368-372, (2011).
- [4] F. PRADA, “La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (3), 617-627 (2016). <http://hdl.handle.net/10498/18501>

Relatividad Especial: una interpretación del fenómeno de la “dilatación temporal”

Juan Tomé
Catedrático de Física y Química de Secundaria,
Malpartida de Plasencia (Cáceres)



Este artículo presenta una interpretación de la relación $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$, la que refleja el fenómeno de la “dilatación temporal”. Se basa en las bien conocidas propiedades