



Revista Eureka sobre Enseñanza y
Divulgación de las Ciencias

E-ISSN: 1697-011X

revista@apac-eureka.org

Asociación de Profesores Amigos de la
Ciencia: EUREKA
España

de Prada Pérez de Azpeitia, Fernando Ignacio
La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la
química

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 13, núm. 3,
septiembre, 2016, pp. 605-615

Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia: EUREKA
Cádiz, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92046968008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química

Fernando Ignacio de Prada Pérez de Azpeitia

Departamento de Física y Química. I.E.S. Las Lagunas. Rivas-Vaciamadrid (Madrid). España.
fernando.pradaperez@educa.madrid.org

[Recibido en julio de 2015, aceptado en mayo de 2016]

La termografía infrarroja es una técnica que detecta la radiación infrarroja mediante cámaras termográficas que muestran la temperatura superficial de los cuerpos, y la hace visible a nuestros ojos, lo que permite la visualización de principios científicos fundamentales, que de otra manera sería imposible.

Palabras clave: Cámara de infrarrojos; Imagen térmica infrarroja; Termografía; Radiación infrarroja; Física y química.

Infrared thermography: an amazing resource for teaching physics and chemistry

Infrared thermography is a technology that detects infrared radiation by thermographic cameras showing the surface temperature of the bodies, making it visible to our eyes, and allowing the visualization of fundamental physical and chemical principles, which otherwise would be impossible for our eyes.

Keywords: IR camera; IR thermal imaging; Thermography; Infrared radiation; Physics and Chemistry.

Para citar este artículo: de Prada Pérez de Azpeitia F. I. (2016) 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. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18501>

Introducción

La termografía es una moderna tecnología que utiliza cámaras que miden y toman imágenes de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos sin necesidad de que haya luz visible. Como esta radiación es función de la temperatura de la superficie del cuerpo, la cámara permite el cálculo y visualización de dicha temperatura.

En los últimos años se ha convertido en una tecnología clave y asequible con múltiples aplicaciones en numerosos campos profesionales. Se está utilizando desde para el diagnóstico de eficiencia energética en las instalaciones industriales y de edificios, hasta para diagnósticos médicos, investigación, arte y seguridad (Vollmer y Möllmann 2010). Hasta hace poco, la visión directa que ofrecen las cámaras térmicas solo se podía comprobar en algunos museos de Ciencia y/o en algunos talleres, como el que organiza el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe (Valencia). El elevado coste de las cámaras de infrarrojos impedía su aplicación con fines didácticos en colegios e institutos. Sin embargo, hoy en día existen modelos de cámaras térmicas, mucho más asequibles y manejables, como la *FLIR i5* utilizada en este trabajo, con una sensibilidad térmica de 0,1 °C.

Esto ha hecho posible la proliferación de publicaciones que ofrecen propuestas de su aplicación para mejorar la comprensión de procesos físicos y químicos relacionados con la materia, la energía y su transferencia entre sistemas, como las realizadas por diversos autores (Vollmer 2001, Möllmann y Vollmer 2007, Xie y Hazzard 2011, Haglund 2015).

Este artículo pretende divulgar y dar a conocer, al profesorado de física y química de enseñanza secundaria y bachillerato, las posibilidades didácticas y las ventajas de esta interesante y fascinante tecnología, con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza y aumentarla motivación del alumnado (figura 1).

Fundamentos teóricos

El descubrimiento de la radiación infrarroja se produjo en 1800, por el astrónomo y músico alemán Sir Frederick William Herschel, descubridor del



Figura 1. El asombro que provocan las imágenes térmicas aumenta el deseo de aprender entre los estudiantes.

planeta Urano en 1781. Al hacer pasar la luz solar a través de un prisma, observó, al igual que ya había descrito el investigador italiano Landriani en 1777, que la temperatura aumentaba al desplazar un termómetro desde la zona de color violeta hacia la zona de color rojo del espectro visible. Sin embargo, Herschel fue el primero en darse cuenta de que al mover el termómetro más allá de la zona del rojo, la temperatura seguía aumentando. Por primera vez se demostró empíricamente que existían formas de luz invisibles al ojo humano.

El espectro electromagnético se divide arbitrariamente en varias zonas con distintas longitudes de onda. Todas las radiaciones que forman parte del espectro están regidas por las mismas leyes, las únicas diferencias se deben a su longitud de onda.

Nuestros ojos son órganos fotorreceptores que han evolucionado para detectar la radiación electromagnética exclusivamente en el espectro de la luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como la infrarroja, es invisible para el ojo humano.

Todos los días estamos expuestos a la intensa radiación infrarroja emitida por el Sol, el fuego o un radiador. Aunque nuestros ojos no la vean, tenemos terminaciones nerviosas en la piel que perciben la correspondiente sensación térmica. Cuanto mayor sea la temperatura de un objeto, más radiación infrarroja emitirá.

En 1909, el físico alemán Max Planck enunció la ley que describe la emisión térmica. De esta ley se deducen las leyes de Wien y la de Stefan-Boltzmann (Tipler y Mosca 2010), que se discuten a continuación.

Para expresar matemáticamente la observación empírica de que los colores varían del rojo al naranja o amarillo a medida que aumenta la temperatura de un radiante térmico, el físico alemán y premio Nobel en 1911, Wilhelm Wien, enunció la ley que indica que la longitud de onda a la que se irradia la máxima energía ($\lambda_{\text{máx}}$) multiplicada por la temperatura absoluta T tiene un valor constante: $\lambda_{\text{máx}} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Por lo tanto, $\lambda_{\text{máx}} = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K} / T$.

La longitud de onda del color es la misma que la longitud de onda calculada para la $\lambda_{\text{máx}}$. Así, un objeto de hierro a temperatura ambiente (300 K), presenta un pico de emitancia radiante a 9,7 μm , en el infrarrojo lejano, que nuestros ojos no son capaces de percibir, pero sí puede detectarse mediante una cámara de infrarrojos. Sin embargo, al calentarla, la longitud de onda emitida se aproxima a la zona del espectro visible, por el lado del color rojo, y el metal adquiere una tonalidad anaranjada. Conforme a la ley de Wien, al aumentar la temperatura la longitud de onda emitida por la radiación va disminuyendo.

A partir de la ley de Wien, de gran utilidad para el análisis de los astrofísicos, se ha podido determinar que la superficie del Sol se encuentra a unos 6000 K, emite luz amarilla y el

máximo de su espectro se sitúa a unos $0,5\text{ }\mu\text{m}$, en el centro del espectro de la luz visible. La estrella más brillante del firmamento, Sirio, con temperatura superficial de 10000 K , emite una luz blanca azulada, con el pico de su emitancia radiante espectral dentro de la banda del ultravioleta invisible, a una longitud de onda de $0,27\text{ }\mu\text{m}$.

La ley de Stefan-Boltzmann, enunciada por los austriacos Josef Stefan y Ludwig Boltzmann, afirma que la intensidad irradiada E (energía por unidad de superficie y de tiempo; también denominada emitancia) por el cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta: $E = \sigma T^4$, siendo $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Así, un pequeño aumento de la temperatura se traduce en un gran aumento de la luminosidad. Esto significa que si un cuerpo se encuentra a una temperatura de 576 K ($273\text{ }^{\circ}\text{C}$) emitirá dieciséis veces más energía que cuando se encuentre a la mitad de temperatura, esto es, a 273 K ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

La ecuación de Stefan-Boltzmann describe las relaciones que permiten que el calor se transmita en forma de radiación. Por tanto, todos los cuerpos por encima del cero absoluto (0 K , $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) emiten radiación e irradian calor.

Cuando se trata de un cuerpo real (cuerpo gris), la ley de Stefan-Boltzmann se expresa en la forma $E = \varepsilon \sigma T^4$, donde ε es la emisividad ($0 < \varepsilon < 1$), propiedad que indica la relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por el cuerpo negro a la misma temperatura. Para el cuerpo negro $\varepsilon = 1$; cuanto menor sea el valor de la emisividad, como la que presentan los metales pulidos, mayor será el porcentaje de radiación reflejada (reflectancia).

La tecnología infrarroja ha desarrollado dispositivos ópticos que detectan y miden la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. A mediados del siglo XX se crearon, con fines militares, las primeras cámaras que detectaban la radiación infrarroja. Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XXI en que, gracias al rápido progreso de la microtecnología se diseñaron cámaras infrarrojas mucho más sencillas, ligeras y asequibles. A medio plazo, esta tecnología estará presente en todo tipo de dispositivos electrónicos de captación de imágenes y su uso será masivo.

Los objetos con alta emisividad tienen baja reflectancia y su temperatura puede medirse fácilmente con una cámara térmica. De forma que, a partir de la medida de la radiación emitida, es posible obtener la temperatura superficial de cualquier objeto y mostrarla en un monitor en forma de imagen (Fluke 2009). Los distintos tonos y colores que ofrecen las imágenes térmicas corresponden a diferentes temperaturas superficiales del objeto.

Aplicaciones didácticas

Numerosos procesos físicos y químicos pueden analizarse bajo la sorprendente visión que ofrece una cámara infrarroja. Gracias a ello, la cámara favorece la realización de pequeñas investigaciones, el diseño de nuevas experiencias de laboratorio y la iniciación en algunas aplicaciones técnico-profesionales (Haglund 2015, Prada 2015). Todo ello con el fin de hacer la Ciencia más comprensiva y atractiva a los estudiantes de cualquier nivel educativo.

Transmisión de calor por conducción

El calor se puede transferir por contacto directo de un cuerpo sólido a otro que se encuentre a diferente temperatura. Este mecanismo se denomina conducción. Según la teoría cinética molecular y la termodinámica, las moléculas que tienen mayor energía cinética (mayor temperatura) transfieren energía directamente a las moléculas adyacentes, que tienen menor energía cinética (menor temperatura).

Para comprobar la transferencia de calor por conducción, se coloca la mano sobre una hoja de papel de un libro durante un par de minutos (figura 2-izq.). Al retirarla, la imagen térmica muestra la impronta térmica que ha dejado la mano en la hoja de papel (figura 2-der.). Asombrosamente, al pasar las hojas del libro, se aprecia cómo el calor se ha ido propagando, página a página, por el resto de las hojas, y por ambas caras.

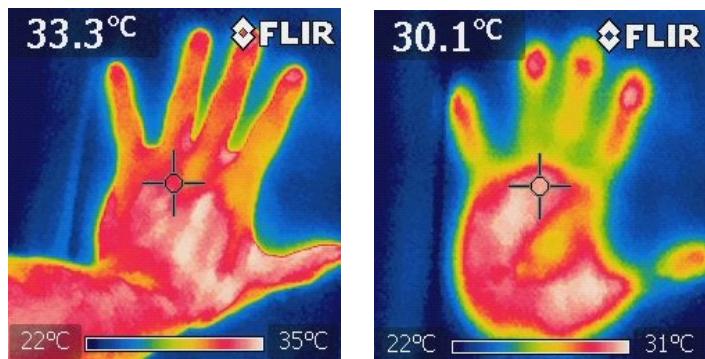


Figura 2. (Izq.) Mano apoyada sobre un papel. (Der.) Huella térmica impresa momentáneamente debida a la mano.

Materiales buenos y malos conductores térmicos

Los materiales que son buenos conductores térmicos, como los sólidos metálicos, transfieren calor fácilmente. Si realizamos el experimento anterior, pero ahora poniendo la mano sobre una bandeja metálica, curiosamente no se observa ni la huella térmica ni una elevación de temperatura en la superficie metálica, como en el caso del papel. Esto se debe a la mayor conductividad del metal, que conduce rápidamente el calor a todo el material metálico de la bandeja. Por esta misma razón, las superficies metálicas parecen estar a menor temperatura que las superficies de materiales que no son buenos conductores del calor (Xie y Hazzard 2011). La diferente conductividad entre un material metálico y otro no metálico (papel, madera, vidrio, plástico, etc.), se puede visualizar al calentar una sartén con asa de plástico termoestable. La imagen térmica muestra la gran diferencia de temperaturas entre ambos materiales (figura 3-izq.).

Los materiales malos conductores del calor son los más adecuados para evitar pérdidas de energía por diferencia de temperatura, al actuar como aislantes. Para comprobar la eficacia aislante de diferentes materiales, se introduce una misma cantidad de agua a la misma temperatura, en tres vasos de vidrio: uno sin aislar, otro recubierto de poliestireno expandido y otro dentro de un vaso tipo Dewar. Al cabo de unos minutos, la imagen térmica muestra cómo cada material presenta una resistencia diferente al paso de calor y cómo la temperatura que se observa en la superficie es muy diferente (figura 3-der.). El vaso Dewar actúa más eficazmente reduciendo la transferencia de energía y manteniendo la temperatura del agua caliente durante más tiempo.

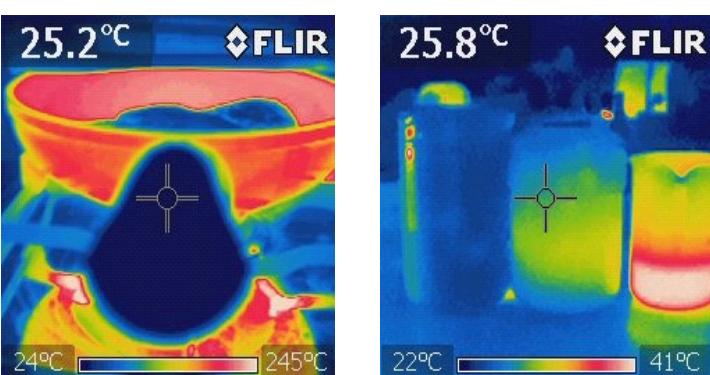


Figura 3. Imágenes térmicas que muestran la diferente conducción de calor en una sartén (Izq.) y en tres recipientes de materiales diferentes (Der.).

Buena parte de la energía térmica que se fuga al exterior de los edificios se debe a un deficiente aislamiento térmico. El empleo de cámaras térmicas en las auditorías energéticas de viviendas e instalaciones es cada vez más frecuente porque permite detectar y evaluar fácilmente las pérdidas de energía (Melgosa 2011).

Radiación visible frente a infrarroja

La radiación es una forma de propagación de energía que no necesita soporte material. Cuando la energía radiante es absorbida por un cuerpo, aumenta su temperatura. Aunque también puede ser reflejada o refractada.

Todas las radiaciones cumplen las leyes de la reflexión, pero no se comportan igual al atravesar ciertos materiales. Así, frente a una bandeja metálica pulida podemos ver nuestra imagen; tanto la reflejada por la radiación visible, como la térmica utilizando la cámara infrarroja. Sin embargo, si tapamos la bandeja con un fino plástico opaco, ya no podemos ver nuestra imagen formada por la radiación visible reflejada, pero seguimos viendo la imagen térmica, ya que la radiación infrarroja atraviesa el plástico.

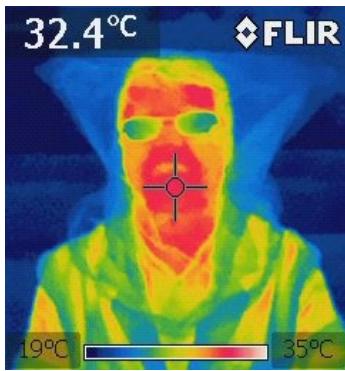


Figura 4. La radiación infrarroja atraviesa materiales que la luz visible no puede traspasar.

De igual forma, si colocamos un plástico opaco tapando una parte del cuerpo (figura 4-izq.). Las longitudes de onda que forman la luz visible son absorbidas por el plástico y no dejan ver lo que hay detrás. Por contraste, las longitudes de onda infrarrojas pueden atravesar un plástico fino, como muestra la figura 4-der.

Refrigeración por evaporación

En todos los cambios de estado se produce una absorción o desprendimiento de energía. Por ejemplo, la evaporación del agua es un proceso físico que necesita energía para que se produzca el cambio de estado de líquido a vapor de agua. Esta energía puede tomarla tanto del ambiente como del propio sistema.

El efecto refrigerante de la evaporación de un líquido es aprovechado cuando los días de mucho calor nos echamos agua al cuerpo y así lo refrescamos. Para observar este fenómeno, pulverizamos agua a temperatura ambiente sobre la superficie de una hoja de papel, también a temperatura ambiente. Las cámaras de infrarrojos permiten visualizar la variación de energía asociada a este cambio de estado. Al analizar la imagen en su pantalla se observa un gran contraste térmico, debido al proceso de evaporación, que produce una disminución de energía, y de temperatura, del agua que moja el papel.

De forma artística, se puede aprovechar el proceso de absorción térmica asociado a un cambio de estado para esbozar dibujos formados por contraste térmico entre la zona del papel mojado por el agua y el resto del papel seco. Los materiales que se necesita son una hoja de papel, colocada sobre un caballete, y un pincel

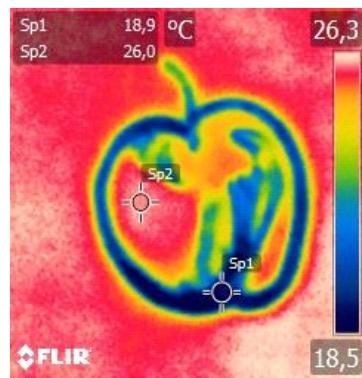


Figura 5. Demostración del efecto térmico de la evaporación durante las *V Jornadas Con Ciencia en la Escuela* (Círculo de Bellas Artes, Madrid, 2015).

impregnado en agua. Con el pincel mojado se dibuja una figura sobre el papel y, a continuación, se analiza lo que está sucediendo con la cámara térmica (figura 5-izq.). La figura 5-der. muestra cómo la zona humedecida presenta un color azul, que indica una temperatura más baja (unos 7 °C) que el resto de la hoja (de color rojo). Las diferentes tonalidades del dibujo indican el gradiente térmico originado como consecuencia de la menor cantidad de agua que contiene el entorno de la figura dibujada.

Cuando el aire está en reposo, la evaporación es lenta porque la capa de aire en contacto con el agua se satura pronto de vapor de agua. Pero al agitar energéticamente un abanico sobre la superficie mojada, se renueva el aire y el proceso de evaporación se acelera, por lo que el efecto refrigerante es mayor.

Por otro lado, si comparamos la evaporación de una gota de agua y otra gota de glicerina, o de aceite, la imagen térmica muestra una gran diferencia. A la temperatura ambiente de 20 °C, la evaporación en la glicerina y el aceite es prácticamente despreciable, por lo que en la imagen térmica no se aprecia una diferencia en el color, como sí sucede con el agua.

El efecto botijo

Basándose en la evaporación del agua, el botijo produce un efecto semejante a un frigorífico (Zubizarreta y Pinto 1995). El proceso se inicia al rezumar el agua por capilaridad a través de los poros de la arcilla con la que está construido el botijo. Al ponerse en contacto con el aire del exterior, se produce el cambio del estado líquido a vapor, absorbiendo el calor latente de vaporización, que a 100 °C es de 2257 kJ por kilogramo de agua. Éste es un valor elevado, ya que para romper los puentes de hidrógeno que unen las moléculas de agua es necesario suministrar mucha energía. La energía necesaria la extrae del recipiente y del agua remanente contenida en el interior del botijo, como consecuencia, disminuye de temperatura.

Para visualizar y analizar el efecto botijo, se hace una comparativa entre dos tipos de botijo: uno fabricado con arcilla porosa sin esmaltar y otro del mismo material arcilloso pero con la superficie esmaltada. Ambos botijos se llenan con la misma cantidad de agua a temperatura ambiente (20 °C) y, después de unos minutos, se analiza con la cámara térmica



Figura 6. Imagen térmica de un botijo sin esmaltar (Izq.) y otro esmaltado (Der.).

(figura 6-izq.). El botijo de arcilla porosa sin esmaltar reduce su temperatura desde 20 °C hasta 14 °C. Sin embargo, el botijo de arcilla esmaltado mantiene la temperatura del agua prácticamente constante. Como el esmalte no es poroso impide que las moléculas de agua se evaporen, por lo que ni disminuye de temperatura ni se produce el efecto de refrigeración (figura 6-der.).

Cuanto más caliente esté el aire, más rápida e intensa será la evaporación del líquido que humedece el botijo por fuera y, por consiguiente, tanto más se enfriará el agua que hay dentro. El enfriamiento también depende de la humedad del aire. Si el aire es muy húmedo, la evaporación será más lenta y el agua se enfriará menos que si el aire es seco.

Disipación de la energía mecánica

El principio de conservación de la energía mecánica afirma que en las transformaciones, en ausencia de rozamiento, la energía mecánica se mantiene constante. Pero si se tiene en cuenta el rozamiento no se cumple, ya que cuando dos superficies deslizan entre sí, la energía mecánica, por efecto del rozamiento, se transforma en energía interna.

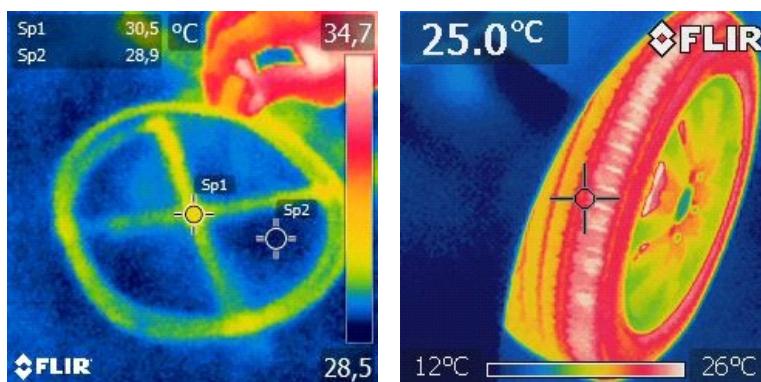


Figura 7. Imágenes térmicas de la disipación de energía por rozamiento: (Izq.) en goma de borrar y (Der.) en neumático de automóvil.

Para comprobar visualmente cómo la energía mecánica (cinética) se disipa, hacemos deslizar con fuerza una goma de borrar sobre la superficie de una mesa de madera, trazando un dibujo. La imagen térmica muestra un aumento de temperatura en la zona por donde se ha trazado el dibujo (figura 7-izq.); este efecto dura solo unos breves segundos hasta que se alcanza el equilibrio térmico. Un efecto semejante se observa en los neumáticos de caucho de las ruedas de un vehículo después de circular durante varios kilómetros. Al rodar, la temperatura del neumático aumenta varios grados, a causa de la energía disipada por el trabajo que realizan las fuerzas de rozamiento (figura 7-der.).

Transformaciones de energía

Una clásica pregunta, relacionada con la energía y sus transformaciones, es ¿qué ocurre con la energía de una bola cuando se deja caer al suelo? Aparentemente parece que la energía desaparece, sin embargo la imagen térmica detecta un momentáneo y ligero aumento de temperatura en el punto de impacto (Vollmer 2001).

Mientras la bola cae, sin tener en cuenta el rozamiento, la energía potencial se va transformando en energía cinética, que es máxima en el punto más bajo. En el momento del impacto contra el suelo, al ser un choque no elástico, una parte de la energía cinética de la bola se invierte en trabajo de deformación de la bola y del suelo, y otra se transfiere como calor.

Cuando se aplica una fuerza a un material elástico, sus partículas se desplazan ligeramente y el cuerpo se deforma. Al cesar la fuerza externa, y si no se ha superado el límite de elasticidad, las fuerzas internas tienden a restituir la posición inicial y el cuerpo vuelve a su forma primitiva.

El trabajo requerido para la deformación se convierte en energía potencial elástica almacenada en el cuerpo, que se reconvierte en trabajo al retornar a la forma inicial una vez haya cesado la fuerza deformadora. Pero una parte de la energía inicial se disipa internamente, como se puede visualizar con la cámara térmica al golpear con un martillo una golosina, por ejemplo, un osito

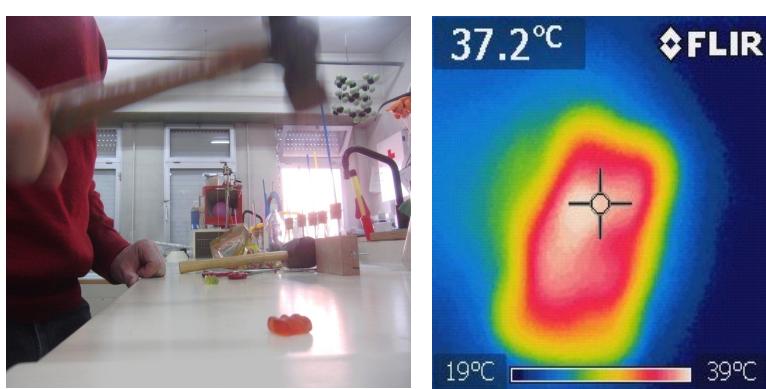


Figura 8. Al golpear con un martillo un osito de gominola (Izq.), éste aumenta su temperatura (Der.).

de gominola (figura 8-izq). La imagen térmica muestra un incremento de la temperatura de la golosina golpeada, de unos 18 °C, que solo se aprecia durante unos breves segundos (figura 8-der.).

Efecto térmico de la corriente eléctrica

Todos los dispositivos electrónicos experimentan el efecto Joule, que consiste en la disipación de la energía eléctrica en forma de calor. Los electrones que recorren los circuitos eléctricos adquieren energía del generador, pero la disipan (en función de la resistencia) en los choques que se producen con los átomos del conductor, en forma de calor irradiado al ambiente.

Para visualizar la diferente cantidad de energía que disipan mediante calor dos tipos diferentes de bombillas, una de incandescencia (con filamento de wolframio) y otra de bajo consumo (como una lámpara compacta fluorescente) se deja luciendo ambas bombillas durante varios minutos. La imagen térmica revela una gran diferencia de temperatura en la superficie de los dos sistemas de iluminación (figura 9-izq.).

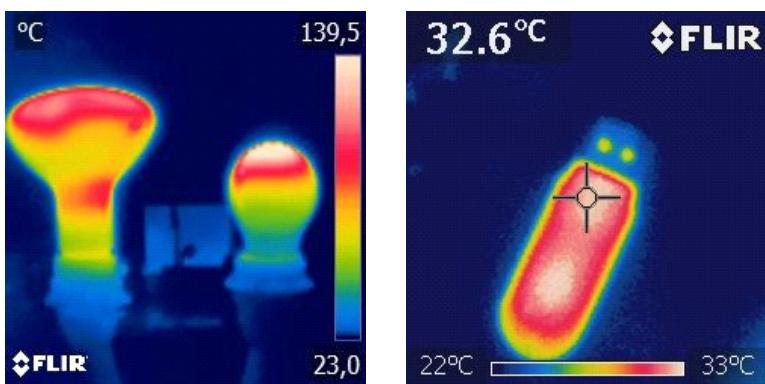


Figura 9. Imágenes térmicas del efecto Joule en dos clases de bombillas (Izq.) y en una memoria *pendrive* (Der.).

Las bombillas incandescentes son poco eficaces energéticamente, ya que la cantidad de luz que proporcionan es pequeña en comparación con la potencia radiante total que generan (alrededor del 15 % de radiación visible, 84 % de infrarroja y 1 % de ultravioleta) (García García 2015). La mayor parte de energía que consumen se disipa como calor a causa de la elevada resistencia del filamento de wolframio. En cambio, las bombillas de bajo consumo son dispositivos de iluminación más eficaces, ya que con un consumo eléctrico mucho menor producen una iluminación similar, disipándose mucha menos energía, por lo que el calentamiento de la lámpara es mucho menor.

El efecto Joule también se visualiza en la imagen térmica de dispositivos electrónicos, como en la de un *pendrive* después de haber estado conectado a un ordenador varios minutos (figura 9-der.).

Expansión y compresión adiabática

La primera ley de la termodinámica es una consecuencia de la aplicación del principio de conservación de la energía a un sistema termodinámico. Establece que la energía interna U de un sistema puede aumentar mediante dos formas: bien realizando un trabajo W sobre el sistema o bien transfiriendo calor Q al sistema. De esta forma, este principio se puede expresar mediante la ecuación: $\Delta U = Q + W$.

Para el caso de un sistema formado por un gas, o una mezcla de gases, el primer principio de la termodinámica indica que si el sistema es aislado, sin intercambio de calor, se puede aumentar su energía interna realizando un trabajo sobre él: $\Delta U = W$. Esto es lo que sucede durante la compresión adiabática. Así, cuando se comprime el aire del interior de una bomba de inflado, se ejerce un trabajo sobre el aire, lo cual produce un aumento de su energía interna y, como consecuencia, de su temperatura (figura 10-izq.).

Si, por el contrario, el aire se expande rápidamente, disminuye su energía interna y, como resultado, el gas se enfriá: $\Delta U = -W$. Así por ejemplo, al presionar la válvula de un bote de aerosol para que expulse su contenido, la expansión adiabática produce un trabajo a costa de disminuir su energía interna y su temperatura. De igual forma, al salir proyectado el dióxido de carbono de un extintor, se produce una rápida expansión adiabática que causa un brusco enfriamiento, como muestra la figura 10-der., llegándose a formar dióxido de carbono sólido (nieve carbónica) al descender la temperatura hasta 78°C bajo cero.

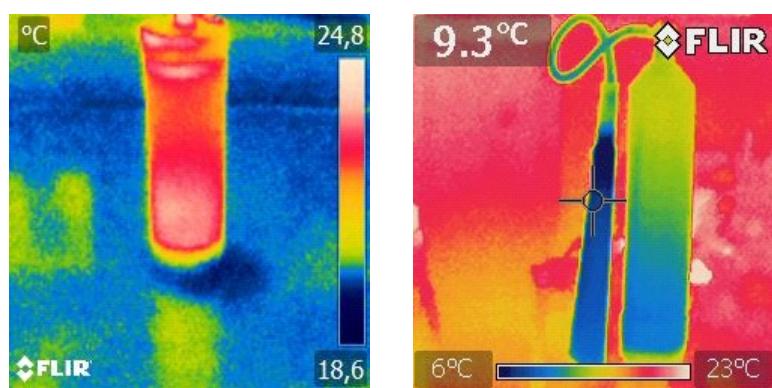


Figura 10. Imágenes térmicas de la compresión adiabática (Izq.) en una bomba de aire y la expansión adiabática (Der.) en un extintor de dióxido de carbono.

Disoluciones exotérmicas y endotérmicas

Los procesos de disolución de un soluto sólido en un disolvente líquido, como el agua, van acompañados de una variación de energía, o calor de disolución, efecto que puede observarse visualmente mediante la termografía infrarroja (Xie 2011).

Por ejemplo, al disolver nitrato de amonio en agua $[NH_4NO_3(s) + H_2O(l) \rightarrow NH_4^+(ac) + NO_3^-(ac)]$, percibimos un enfriamiento debido a la diferencia entre la energía que mantiene unidas a las partículas del sólido y la energía que se desprende al formarse agregados entre el sólido y el disolvente. Esta disolución es un proceso endotérmico porque es necesario un aporte de energía para que se produzca. La sensación que se percibe al contacto con el recipiente donde se produce es de frío, ya que el sistema toma energía del medio que lo rodea y la emplea en producir la disolución.

El efecto contrario se produce cuando se disuelve en agua un sólido como el cloruro de calcio $[CaCl_2(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca^{2+}(ac) + 2Cl^-(ac)]$. En este caso el proceso de la disolución es exotérmico porque se desprende energía al entorno que se percibe como calor.

Para visualizar la variación de energía implicada en la disolución de los dos solutos, se disuelve la misma cantidad dentro de dos matraces de 250 mL (figura 11-izq.). Después de disolverlos, se observa la diferencia de temperatura alcanzada en cada matraz (figura 11-der.).

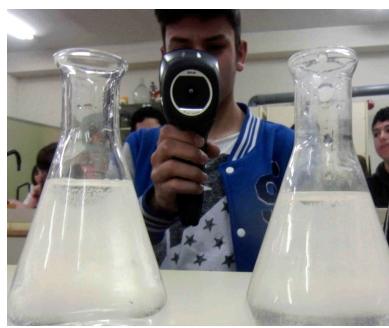


Figura 11. En los matraces de la figura hay una disolución exotérmica (Izq.) y endotérmica (Der.).

Actividades de divulgación

Las aplicaciones sobre termografía infrarroja incluidas en este trabajo han sido mostradas en diferentes eventos científicos divulgativos, contribuyendo a la celebración del *Año Internacional de la Luz y las Tecnologías basadas en la Luz*.

En algunos casos, fueron los propios estudiantes (del I.E.S. Las Lagunas, de Rivas-Vaciamadrid), siguiendo el modelo de aprender enseñando, quienes mostraron y explicaron a otros estudiantes, y al público visitante, el proyecto realizado en su centro educativo:

- VI Finde Científico (2014), punto de encuentro para profesores, estudiantes y público interesado en la ciencia, organizado por la Fundación Española para la Ciencia y Tecnología en colaboración con el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de Alcobendas en Madrid.
- V Jornadas Con Ciencia en la Escuela (2015), organizadas por FUHEM y el Círculo de Bellas Artes de Madrid, en colaboración con FECYT.

En otros eventos, fue el profesor (autor) el que mostró el fundamento de las cámaras de infrarrojos, la tecnología en que se basa y las aplicaciones más interesantes:

- XIV Edición de la Semana de la Ciencia de Madrid (2014), que tiene como principal objetivo involucrar a los ciudadanos en la ciencia y la tecnología, organizada por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Comunidad de Madrid.
- X Jornadas de la Enseñanza de la Física y Química (2015) organizadas por el Consejo General de Colegios de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias (Museo Caixaforum de Madrid). En este encuentro se mostró al profesorado las aplicaciones didácticas que ofrecen las cámaras térmicas, proporcionadas por la empresa *Alava Ingenieros*. Después de experimentar con esta asombrosa tecnología, los docentes participantes mostraron gran interés e ilusión en ponerla en práctica durante su actividad docente.

Así mismo, el autor colaboró en la preparación de las demostraciones realizadas sobre termografía en el programa de divulgación científica de TVE-2 Órbita Laika, emitido el 30 de septiembre de 2015 (Órbita Laika 2015).

Recientemente, el trabajo *La Termografía Infrarroja: una sorprendente visión de la Ciencia*, ha sido galardonado con el 1^{er} premio en la XVI edición del concurso Ciencia en Acción, celebrado en 2015, dentro de la modalidad de Demostraciones de Física. En palabras del jurado, por mostrar de forma amena y atractiva para el gran público y con rigor científico, diversas aplicaciones de la termografía infrarroja.

Conclusiones

Las posibilidades que ofrecen las cámaras e imágenes térmicas como recurso didáctico son numerosas, todas ellas rodeadas de curiosidad, asombro y admiración. Así, por ejemplo, las cámaras térmicas se pueden aprovechar:

- durante las clases para explicar y mejorar la comprensión de la ciencia a partir de visualizaciones directas de los cambios de energía interna de los cuerpos,
- en prácticas de laboratorio para realizar indagaciones y exploraciones sobre procesos relacionados con la transferencia de calor,
- en proyectos de innovación didáctica y trabajos de investigación,
- en ferias y demostraciones científicas, donde los propios estudiantes ponen en práctica lo aprendido,
- como iniciación al mundo laboral a partir de la aplicación de técnicas profesionales, etc.

Mediante las experiencias y actividades mostradas, se ha conseguido aumentar el interés de los estudiantes, estimulando su curiosidad y ganas de aprender y, de esta forma, progresar en su aprendizaje científico.

La termografía aplicada al aula, además de promover la generación de vocaciones científicas, ayuda a cambiar la percepción que tiene el alumno sobre la física y la química, pasando de ser materias muy complicadas y abstractas a percibirlas como más atractivas, interesantes y aplicadas. Este aumento en el interés se refleja en el mayor número de estudiantes que se matriculan en las asignaturas relacionadas con estas materias.

Referencias

- Fluke (2009) *Introducción a los Principios de la Termografía*. Fluke Corporation + The Snell Group. Illinois. American Technical Publishers.
- García García J. A. (coord) (2015) *Ciencia con luz propia. Aplicaciones tecnológicas de la luz*. Madrid. FECYT - Fundación SM.
- Haglund J. (2015) Students framing of laboratory exercises using infrared cameras. *Physics Education* 50, 424-430.
- Melgosa S. (2011) *Guía de la Termografía Infrarroja*. Madrid. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.
- Möllmann K.-P., Vollmer M. (2007) Infrared thermal as a tool in university physics education. *European Journal of Physics* 28, S37-S50.
- Órbita Laika (2015) [La demostración: cómo funciona y para qué se emplea una cámara termográfica](#).
- Prada F. (2015) La mirada infrarroja: una sorprendente visión de la ciencia. *Revista Digital EducaMadrid. Experiencias Educativas*, febrero.
- Tipler P. A., Mosca G. (2010) *Física para la Ciencia y la Tecnología*, 6^a ed. Barcelona. Reverte.
- Vollmer M. (2001) There are more to see than eyes can detect. *The Physics Teacher* 39, 371-376.
- Vollmer M., Möllmann K.-P. (2010) *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*, 1st ed. Berlin. Wiley-VCH.
- Xie C. (2011) Visualizing chemistry with infrared imaging. *Journal of Chemical Education* 88, 881-885.
- Xie C., Hazzard E. (2011) Infrared imaging for inquiry-based learning. *The Physics Teacher* 49, 368-372.
- Zubizarreta J. I., Pinto G. (1995) An ancient method for cooling water explained by means of mass and heat transfer, *Chemical Engineering Education* 29, 96-99.