

LA LUZ: UNA HERRAMIENTA IMPORTANTE PARA HACER INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL SALVADOR

Carlos Rudamas¹

¿QUÉ ES LA LUZ?

Luz es algo que tenemos y utilizamos todos los días de nuestra vida pero casi nadie se detiene a pensar en ella o mucho menos a tratar de definirla. Hablando sencillamente podemos decir que la luz es una forma natural de transferir energía a través del espacio. Sabemos que la luz viaja muy rápido pero que tiene una velocidad finita. La luz recorre una distancia de aproximadamente 300,000 kilómetros en un segundo. Esta velocidad parece increíblemente enorme. Sin embargo, cuando la luz recorre distancias muy grandes, como la distancia que hay entre el Sol y nuestro planeta, la naturaleza finita de su velocidad se vuelve

aparente. Es muy interesante saber que cuando observamos la belleza de la puesta del Sol en nuestras cálidas playas, ésta ha ocurrido aproximadamente ocho minutos antes del momento en el que nosotros la vemos en la Tierra. Ese es el tiempo que la luz, proveniente del Sol, necesita para alcanzar nuestro planeta.

Para complicarnos un poquito, podemos referirnos a la luz, de una manera más general, utilizando la palabra *radiación electromagnética*. La luz visible, que la mayoría de nosotros vemos, es solamente una pequeña porción de algo más grande llamado *espectro electromagnético*. Éste último se muestra en la Figura 1. En este

espectro se indican las diferentes porciones de luz con su correspondiente *longitud de onda* en metros y su *frecuencia* en Hertz. Es evidente que la luz visible, que ocupa el intervalo de longitudes de onda entre 400 y 750 nanómetros (nm), (el cual se ha agrandado en la figura para efectos de mayor claridad), es solamente una pequeña porción de todo el espectro electromagnético que está constituido por otras porciones de luz como los rayos gamma, rayos ultravioleta, infrarrojo, ondas de radio, etc. Es importante saber que todas estas otras porciones del espectro electromagnético también son luz, independientemente de que no las podamos ver con nuestros ojos.

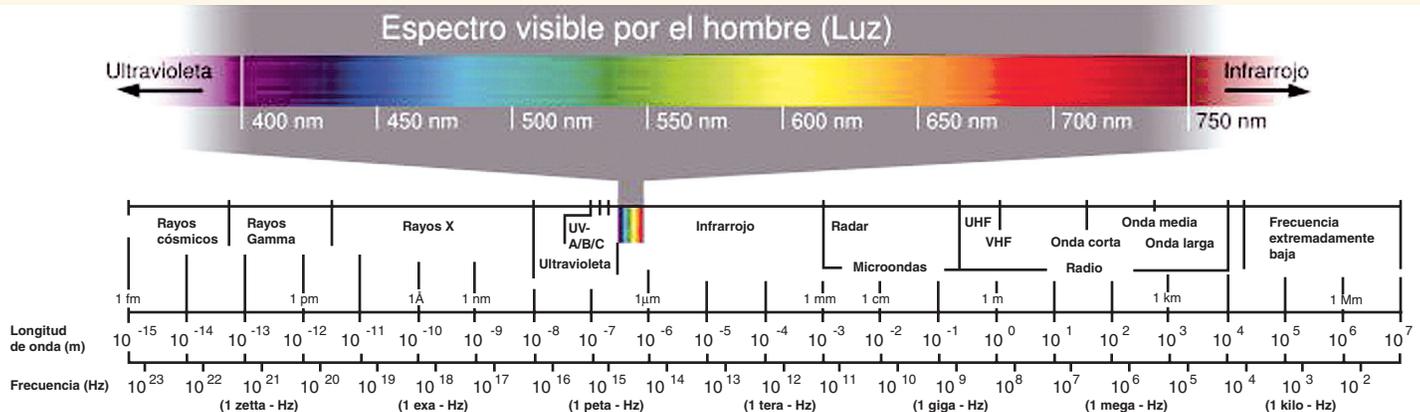


Fig. 1. Diagrama del espectro electromagnético. Se muestran las diferentes longitudes de onda y frecuencias correspondientes a cada porción de luz del espectro. En el texto del presente artículo se explican los conceptos de frecuencia y longitud de onda.

Comportamiento de la luz

Algunos experimentos de física realizados a principios del siglo pasado demostraron que la luz tenía un comportamiento dual [1]. Esto significa que la luz se comporta como una *onda* en unos casos y como una *partícula* en otros. A esa partícula nos la podemos imaginar como un *paquete de energía* al que llamamos *fotón*. Si consideramos ahora la energía que estos fotones contienen podemos decir categóricamente que no todos ellos han sido creados de la misma forma. Por ejemplo, un fotón de rayos-X o de rayos ultravioleta (UV) contiene una cantidad de energía mayor comparada con la que posee un fotón de luz visible. Esta energía contenida en un fotón es una de las características que permite diferen-

ciar o distinguir las diferentes porciones o rangos de luz que se observan en el espectro electromagnético de la Figura 1.

La otra forma de representar a la luz, y que mencionamos arriba, es como una onda. Esto puede sonar aún más complicado que lo anterior, pero la analogía con el sonido puede ayudarnos a entender algunas de las características más importantes de las ondas. Cuando tocamos una nota alta y una baja en un instrumento musical, como en un piano, ambas notas producen sonido, pero la característica más importante que diferencia a ambas notas es la frecuencia de las cuerdas vibrantes (que son las que producen el sonido). Mientras más rápido es la vibración de la cuerda (frecuencia alta), más alta es la nota. Po-

demostramos decir entonces que las notas más altas tienen longitudes de onda más cortas, es decir, distancias más cortas entre crestas sucesivas de la cuerda vibrante. Para entender mejor el concepto de longitud de onda la Figura 2 indica la distancia entre crestas sucesivas en una cuerda vibrante. Aplicando esto a dos porciones de luz del espectro electromagnético, llámese luz azul y roja, podemos afirmar que tanto la luz azul como la luz roja poseen diferente frecuencia y diferente longitud de onda. La luz azul tiene una frecuencia mayor que la roja y por consiguiente una longitud de onda menor. En general, cada porción de luz posee diferentes longitudes de onda. Esto nos permite su clasificación dentro del espectro electromagnético.

1. Ph.D. en Física. Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador, Final 25 Av. Norte, San Salvador, El Salvador. e-mails: crudamas@cic.ues.edu.sv // carlos.rudamas@uv.es

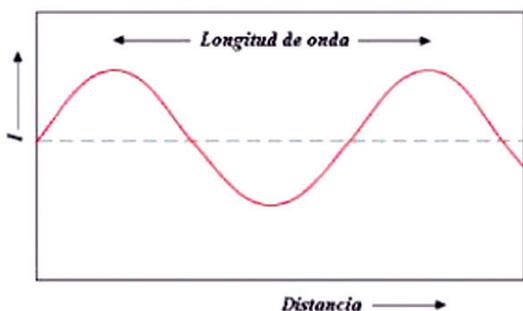


Figura 2. Diagrama que representa una cuerda vibrante (línea de color rojo) que produce sonido. El eje vertical "I" muestra la amplitud de la vibración mientras que el eje horizontal muestra la distancia o longitud de la cuerda. La distancia entre cresta y cresta se denomina longitud de onda.

Volvamos ahora a la parte visible del espectro electromagnético. El arcoiris es un buen ejemplo de un espectro de luz visible. Lo que no se observa en éste a simple vista es que las intensidades de la luz son diferentes para cada color. Si graficamos la intensidad de cada porción de luz del arcoiris en función de la longitud de onda que éstas poseen obtenemos un gráfico como el que muestra la Figura 3.

La intensidad es mayor aproximadamente en la porción verde y verde-amarilla del espectro. En este "espectro gráfico" también se observa que hay intensidad de luz por debajo

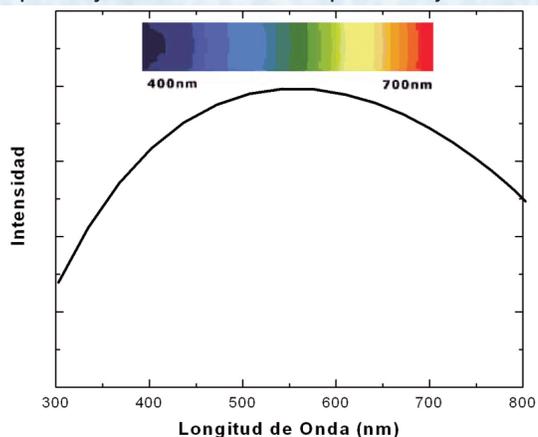


Figura 3. Forma gráfica de representar el espectro del arcoiris de acuerdo a la intensidad de cada porción de luz correspondiente a cada longitud de onda.

(longitudes de onda menores que 400 nm) y por encima (longitudes de onda mayores que 700 nm) de la luz visible. Es decir, existen otras porciones de luz que nuestros ojos no son capaces de

ver. Los científicos utilizan este tipo de "espectros gráficos" para obtener información de la luz. Éstos permiten incluso obtener información de porciones de luz que no pueden ser vistas por nuestros ojos pero que pueden ser detectadas por algunos instrumentos de medición.

Dada la naturaleza dual de la luz, podemos decir que la energía (que se simboliza con la letra E) de un fotón de luz está íntimamente relacionada con la longitud de onda (que se simboliza con la letra griega lambda λ .) asociada a éste. La expresión matemática que las relaciona es,

$$E = \frac{K}{\lambda}$$

donde K representa una constante. Esta expresión está de acuerdo con lo que mencionábamos arriba, que la luz con longitud de onda mayor posee una energía menor.

Interacción de la luz con la materia: Absorción y Emisión de luz

Todos nosotros hemos escuchado alguna vez que los átomos y las moléculas pueden absorber luz. Esto no debe sorprendernos. Si no absorbieran luz, nosotros podríamos encender una lámpara en nuestra casa e inmediatamente volver a apagarla y los fotones, es decir, la luz se movería por toda la casa indefinidamente ya que no sería absorbida por ninguna de las partes de la casa (paredes, techo, etc.). De la misma forma, la luz infrarroja proveniente de alguna fogata, no podría calentarnos si nuestro cuerpo humano (compuesto de átomos y moléculas) no fuera capaz de absorber esta energía de la luz. Los fotones, como los rayos-X, con energía mayor a la luz visible e infrarroja tienden a recorrer distancias mayores dentro de los cuerpos hasta que son finalmente absorbidos. De

esto se deriva su gran utilidad en la medicina. Debido a su alta energía estos fotones pasan o atraviesan los tejidos "suaves" del cuerpo humano y son finalmente absorbidos por los huesos.

De esta forma se puede obtener lo que conocemos como radiografía. Se coloca una película fotográfica detrás de la parte del cuerpo que es irradiado con rayos-X y se obtiene una imagen con diferentes contrastes debido a la diferente cantidad de fotones que atraviesan las diferentes partes del cuerpo.

La pregunta lógica que surge ahora es ¿Cómo es que los átomos y moléculas absorben fotones? Para responder a esta pregunta debemos de desarrollar otros conceptos. A los físicos nos gusta utilizar modelos sencillos para describir la naturaleza. Por ejemplo, consideremos que somos capaces de ver un sólo átomo. Éste está compuesto de protones, electrones y neutrones. Cada átomo de un elemento químico está compuesto de un número específico de éstos. Esto es lo que hace diferentes entre sí a los elementos químicos. Los protones y los neutrones poseen mucha más masa que los electrones. Es por esto que podemos visualizar a un átomo como un sistema solar en miniatura con las partículas más pesadas en el centro (o sea el núcleo) y los electrones dando vueltas alrededor de éste en órbitas parecidas a las órbitas planetarias. Esto es lo que nos han enseñado en la escuela o el bachillerato. Siendo honestos, los físicos creemos que este modelo no es realmente válido. No podemos pensar en los electrones como pequeñas bolitas "orbitando" alrededor de un núcleo. Sin embargo, la idea que los electrones se encuentran solamente a ciertas distancias del núcleo y que cada una de estas distancias permitidas corresponden a diferentes estados de energía del electrón, es algo más cercana a lo que creemos que es la realidad. Sin querer entrar en lo que es la física atómica podemos postular que los electrones pertenecientes a los átomos solamente pueden encontrarse en ciertos niveles de energía específicos. Tomemos como ejemplo al átomo de hidrógeno que contiene un protón y un electrón y es el átomo más sencillo y abundante en el universo. Consideremos los dos primeros niveles de energía permitidos, E_1 y E_2 , que se muestran en la Figura 4. La figura 4(a) representa al átomo de hidrógeno (¡los niveles de energía!) cuando sobre él está incidendo luz que se muestra como un fotón

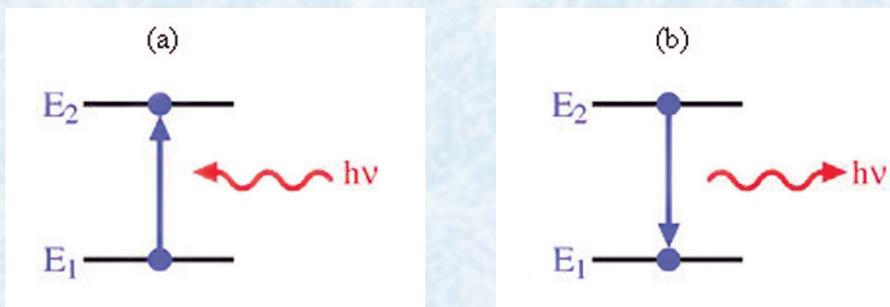


Figura 4. (a) Esquema del “salto” de un electrón del nivel de energía E1 al E2 cuando el átomo absorbe un fotón con energía. (b) Emisión de un fotón cuando el átomo vuelve a su estado fundamental.

con energía igual a $h\nu (= \frac{hc}{\lambda})$

donde h y c representan la famosa constante de Planck y la velocidad de la luz, respectivamente. El producto de ambas es la “constante” que aparece en la ecuación de la sección 1 del presente artículo. El fotón es absorbido por el electrón del átomo de hidrógeno y éste salta a un nivel de energía más alto. Cuando esto pasa decimos que el átomo se encuentra en un estado “excitado”. Sin embargo, los átomos en estados excitados tienden naturalmente a regresar a su estado natural o fundamental, es decir, a su estado de mínima energía. Para hacer esto el átomo tiene que perder energía y lo hace emitiendo un fotón cuando el electrón pasa del estado E2 al estado E1, como indica la figura 4(b). Este proceso se conoce como absorción y emisión de fotones a una longitud de onda específica.

Hasta ahora hemos discutido solamente el salto de energía en un átomo. A este “salto” lo conocemos en física como una “transición” entre niveles de energía. Naturalmente, los sistemas físicos están compuestos de muchos y diferentes átomos. En cada uno de ellos se pueden dar transiciones permitidas que se asocian a la absorción o emisión de fotones a longitudes de onda que corresponden a las diferencias energéticas entre los niveles de energía. Estas transiciones son únicas y se pueden considerar “patrones” de absorción o emisión. Ningún otro sistema físico puede tener el mismo patrón. De esta forma tenemos patrones de líneas de absorción o emisión en un espectro que nos permite reconocer de qué átomos o moléculas están compuestos los sistemas físicos que estudiamos. A manera de

ejemplo la Figura 5 muestra el espectro óptico que se observa de la luz proveniente del neón (gas) de una lámpara incandescente. Así como el hidrógeno, el neón presenta un conjunto específico de líneas espectrales. Claramente se observa que cada línea de color en la barra de colores de la parte superior de la figura 5 corresponde a un “pico” en el espectro gráfico. Debido a que la mayoría de líneas espectrales se encuentran en la región amarilla y roja del espectro electromagnético nosotros vemos de color naranja a la luz proveniente de una lámpara de Neón. Estas dos formas de representación mostradas en la Figura 5 se conocen como espectros.

Probablemente todos habremos estudiado en la escuela que cuando la luz blanca atraviesa un prisma, ésta se descompone y forma un espectro de colores como el arcoiris. Este proceso se conoce como dispersión de luz y se produce debido a que la luz de diferente color (o longitud de onda) se desvía a diferentes ángulos al pasar de un medio menos denso (como el aire) a uno más denso (como el vidrio del prisma).

¿Cómo se mide un espectro?

Para poder obtener espectros necesitamos un dispositivo conocido como el Espectroscopio. En su forma más simple éste se puede representar como lo muestra el diagrama de la Figura 6. Luz proveniente de algún sitio es dispersada por un prisma y detectada por el ojo. De esta forma podemos observar los diferentes espectros de colores que se muestran en la parte derecha de la

figura. Un espectro continuo (como el arcoiris) se obtiene cuando una fuente de luz blanca como la de una bombilla es dispersada por un prisma. Cuando un gas incandescente emite luz y ésta es dispersada por un prisma se observa un espectro de líneas de emisión (de esta forma se obtiene el espectro del Neón mostrado en la parte superior de la Figura 5). Cuando la luz blanca atraviesa un gas, éste absorbe fotones con longitudes de onda específicas que corresponden a las diferencias en energía entre sus niveles, observándose así líneas negras (sin luz) a esas longitudes de onda sobre el espectro continuo.

En general, este tipo de espectros, aunque son muy bonitos y coloridos, no contienen la información detallada que requerimos en ciencias o en la investigación científica. En la práctica se utiliza un fenómeno físico completamente diferente para obtener un espectro: la difracción de la luz. Para separar las componentes de la luz con diferente longitud de onda se usa un dispositivo óptico llamado red de difracción. Ésta consiste en un substrato generalmente hecho de vidrio y sobre el cual se construyen litográficamente muchas líneas finamente espaciadas. Una red de difracción típica, usada en laboratorios científicos, puede poseer desde varios cientos hasta varios miles de líneas por milímetro. Sin embargo, una red de difracción por sí sola no es necesariamente mejor que un prisma para obtener un espectro. La red de difracción debe ser montada en un Espectrógrafo. Éste consiste en una caja con una pequeña apertura que deja entrar luz, unos espejos que dirigen la luz hacia donde nos interesa

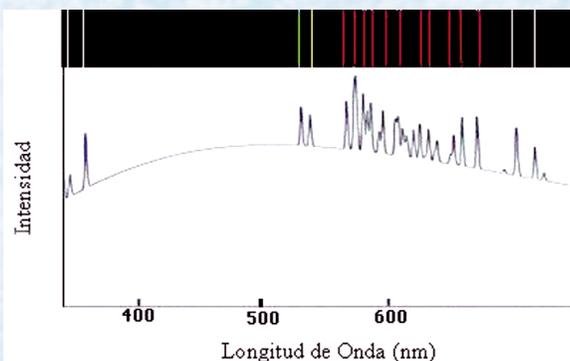


Figura 5. Espectro de emisión del Neón. La parte superior muestra el espectro obtenido en una película fotográfica y la parte inferior el formato gráfico del espectro.

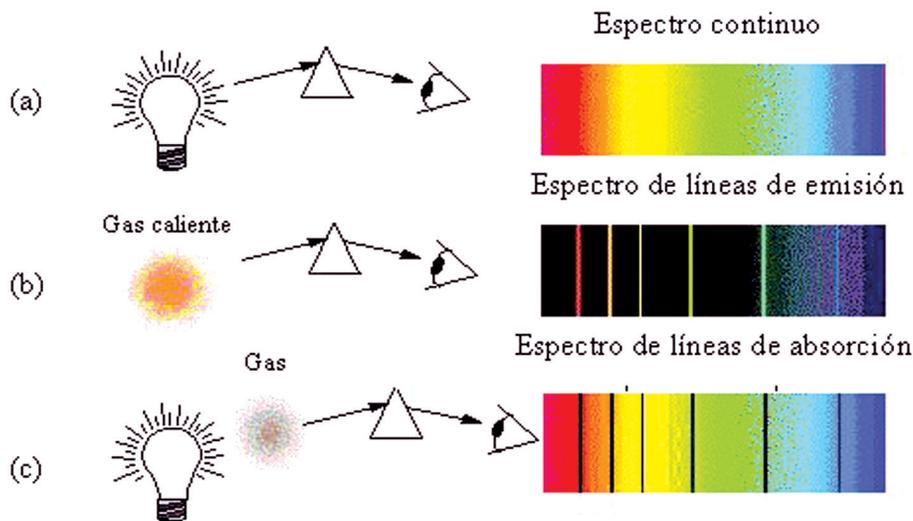


Figura 6. Diagrama que muestra la forma de obtener un (a) Espectro continuo de emisión, (b) Espectro de líneas de emisión, (c) Espectro de líneas de absorción.

guiarla, una red de difracción y un detector, generalmente un dispositivo CCD (del inglés "Charge Coupled Device"), que está colocado a un ángulo apropiado y a cierta distancia de la red de difracción para poder obtener el espectro en el rango de longitudes de onda de interés. Un CCD no es más que un arreglo de varios cientos o miles de fotodiodos (en este caso se les conoce como "píxeles") ordenados en una línea o en un plano. Un espectrógrafo típico se muestra en la Figura 7. Después de una calibración adecuada de la posición de los "píxeles" del CCD y la longitud de onda que éstos representan se puede obtener un gráfico de la intensidad de la luz en función de la posición de los píxeles, es decir, de la longitud de onda. Esta representación gráfica de un espectro es la que la mayoría de los científicos encuentran muy útil para obtener información de los sistemas físicos que investigan. El espectro luego se puede convertir a forma digital utilizando un dispositivo electrónico llamado convertidor analógico-digital para que pueda ser procesado por una computadora. Es aquí donde se analizan los espectros para

obtener toda la información que contienen. A esta forma de obtener información científica de los sistemas físicos, utilizando la luz, la conocemos como Espectroscopía Óptica.

Algunas aplicaciones de la espectroscopía óptica

El hecho de que la luz contenga información valiosa de la fuente de donde proviene, del material que atraviesa, y también del material donde se refleja, permite que la espectroscopía óptica se utilice en la investigación científica en diversas áreas de

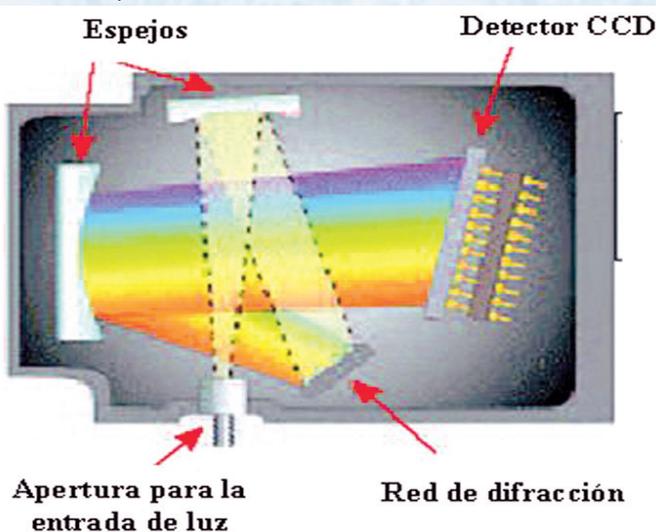


Figura 7. Diagrama que muestra las principales partes de un espectrógrafo.

la ciencia y la tecnología. A continuación se presentan unos pocos ejemplos de aplicación del uso de la luz en la investigación científica de una forma muy breve y sin entrar en detalles.

Aplicaciones en física del estado sólido y ciencia de materiales

La investigación en el área de la ciencia de materiales y la física del estado sólido utilizando espectroscopía óptica ha permitido descubrir propiedades ópticas importantes en diferentes materiales. Los resultados de estas investigaciones han conducido a la fabricación de dispositivos muy importantes en nuestra vida diaria. La fabricación de láseres de diodo basándose en las propiedades ópticas de algunos materiales semiconductores es uno de los mejores ejemplos. La Figura 8(a) muestra los espectros de emisión obtenidos durante la investigación científica realizada utilizando espectroscopía óptica en estructuras semiconductoras de tamaños nano-métricos [2]. Los resultados de estas investigaciones conducen a la optimización de las propiedades ópticas de estas estructuras y con ello a la fabricación de láseres de diodo como los que aparecen en la Figura 8(b) y 8(c). Sin la existencia de dispositivos esencialmente similares a éstos, no podría existir el CD-ROM, los CDs y los DVDs que nos permiten leer y almacenar una cantidad considerable de información importante para nuestro trabajo y también para nuestra diversión. Las mejores fotocopiadoras e impresoras que utilizamos en la actualidad se basan también en el uso de este tipo de láseres. Por otra parte, las comunicaciones se han beneficiado enormemente con el uso de las propiedades ópticas de los semiconductores. Si no existieran los láseres de diodo y otros dispositivos optoelectrónicos como los llamados moduladores, no podríamos enviar información a través de las fibras ópticas hasta el otro lado de nuestro planeta de la forma tan rápida en la que lo hacemos en la actualidad.

Aplicaciones en la investigación medioambiental

Una de las áreas de la investigación medioambiental que se ha visto enormemente beneficiada por el uso de la espectroscopía óptica es la determinación de contaminantes en la atmósfera, en el suelo y en las aguas. Una gran cantidad de contaminantes importantes absorben y/o emiten radiación electromagnética en el visible y en el ultravioleta. Entre estos se pueden mencionar algunos contaminantes criterio

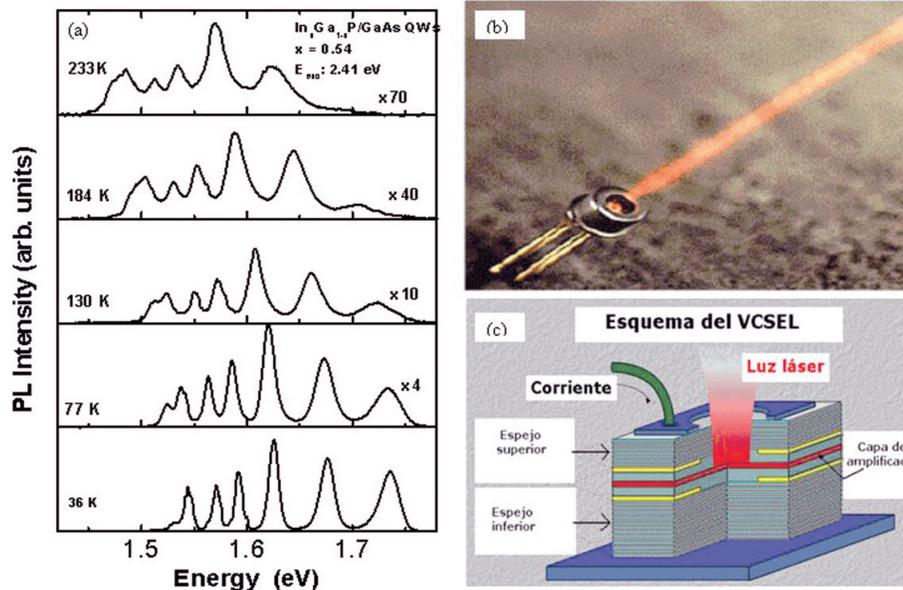


Figura 8. (a) Espectros de emisión de estructuras semiconductoras cuánticas de InGaP/GaAs. Tomada de [2]. (b) Diodo láser emitiendo luz. (c) Esquema de un láser del tipo VCSEL (“Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser”).

(como el O₃, SO_x y NO_x), así como muchos compuestos aromáticos [3, 4]. Esto permite la aplicación de la espectroscopia de absorción y emisión (en todas sus formas posibles) en la investigación de estos contaminantes. Una de las ventajas del uso de estas técnicas es la posibilidad de hacer las mediciones “in-situ”, algo que es muy importante especialmente en casos graves de contaminación ambiental.

En la Universidad de El Salvador (UES) estamos empezando un proyecto de investigación financiado parcialmente por el Consejo de Investigaciones Científicas de la UES que permitirá el estudio de algunos contaminantes criterio en la atmósfera salvadoreña utilizando espectroscopia óptica

de absorción. Resultados preliminares de investigaciones relacionadas con la determinación de contaminantes en la atmósfera salvadoreña ya se han presentado en congresos internacionales [5].

Aplicaciones en biología

La investigación de sistemas biológicos utilizando la luz es una de las áreas más importantes de la biología en la actualidad. La espectroscopia de emisión o fluorescencia, que ha permitido una resolución espacial por debajo de los 100 nm, es en la actualidad una de las técnicas más sobresalientes. La investigación en plantas es un buen ejemplo de aplicación. Recientemente se han publicado resultados de espectroscopia de emisión (o fluorescencia) obtenidas en investigaciones sobre el nivel de micorrización en raíces de palmeras [6]. La importancia de las micorrizas (simbiosis hongo-raíz) estriba en que el 97% de las plantas terrestres forman este tipo de simbiosis. Es decir, prácticamente la totalidad de las plantas de interés agrícola y forestal forman micorrizas. Sin éstas no se puede pensar en actividades tales como agricultura, silvicultura, bioremediación,

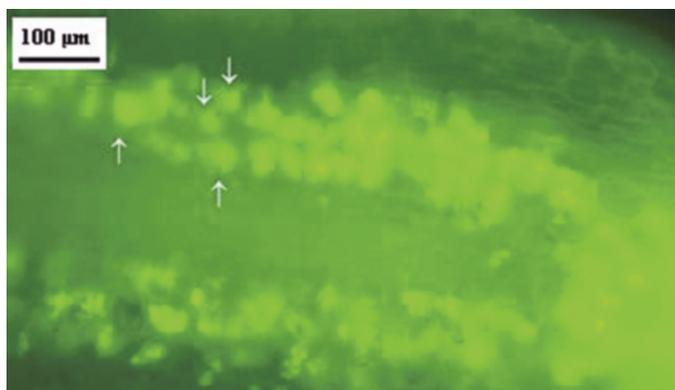


Figura 9. Sección longitudinal de una raíz de palmera micorrizada. Las flechas indican la emisión proveniente de algunos de los arbuscúlos presentes en el cortex de la raíz. Cortesía de B. Dreyer.

revegetación, aprovechamiento de recursos no maderables de los bosques, conservación de la biodiversidad, y el manejo sostenible, entre otras [Para mayores detalles véase el artículo sobre micorrizas en este mismo número de la revista]. La Figura 9 muestra la fluorescencia obtenida en secciones longitudinales de raíces de palmera cuando son excitadas con luz azul. La emisión proveniente de arbuscúlos metabólicamente activos es evidente en la figura. El origen de la fluorescencia está aún en discusión.

En la UES estamos iniciando una colaboración con la Dra. B. Dreyer (que se encuentra en nuestro país y que además es la autora de estos resultados recientemente publicados sobre raíces de palmeras micorrizadas) para la realización de un proyecto que incluya un estudio más detallado de las propiedades ópticas de raíces de plantas micorrizadas. Entender los procesos que originan la fluorescencia en este tipo de raíces nos podría conducir al desarrollo de sensores ópticos para medir niveles de micorrización en plantas.

Aplicaciones en medicina

La medicina ha sido también fuertemente impactada por el uso de la espectroscopia óptica. La diabetes, una enfermedad muy padecida por los latinoamericanos y que está dentro de las 5 enfermedades que producen más muertes en mujeres en Centroamérica, según la Organización Panamericana de la Salud [7], puede ser investigada utilizando un haz de luz láser con longitudes de onda entre 850 nm y 1200 nm. Si se deja pasar este haz de luz por una región vascular del cuerpo se puede obtener información espectral que está relacionada con la concentración de glucosa en la sangre [8]. Simple y sencillamente utilizando espectroscopia óptica podemos tener información valiosa relacionada con esta enfermedad tan importante que sufren muchos salvadoreños y salvadoreñas.

Otra aplicación importante la constituye la utilización de un haz de luz láser dentro de la conocida como terapia foto-dinámica, PDT (“Photodynamic Therapy”), en el tratamiento de varios tipos de cáncer, entre ellos el cáncer de mama. El cáncer de mama, junto con el cáncer uterino, es la principal causa de muerte en mujeres entre los 35 y 64 años en América Latina. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud, en América Latina se registraron cerca de 90.000 casos de cáncer de mama en el año 2000 [9].

La terapia foto-dinámica es una técnica muy exitosa en el tratamiento de este tipo de cáncer y está basada en la destrucción de tumores malignos mediante la foto-oxidación inducida y selectiva de éstos. El proceso consiste primeramente en la administración de una droga, conocida como fotosintetizador, que es retenida principalmente por células cancerígenas. Cuando la luz de un haz láser con suficiente intensidad y apropiada longitud de onda interactúa con la droga se induce la necrosis del tejido enfermo debido a la oxidación irreversible inducida de componentes celulares importantes [10]. Es evidente entonces que el uso de la luz también permite contribuir en el combate de enfermedades importantes en nuestros países. La terapia fotodinámica,

por su forma de aplicación, es una muy buena alternativa a la cirugía convencional en el cáncer de mama.

Otro avance muy importante es el uso de la luz para tratamientos en la odontología. En los últimos 50 años el decaimiento dental o la caries dental se ha incrementado dramáticamente, probablemente por el uso de fluoruros en el agua potable y el uso extendido de dentífricos ricos en estos [11]. Este decaimiento, particularmente en sus etapas tempranas, es muy difícil de detectar con la instrumentación convencional de los dentistas, llámense, rayos-X y la exploración dental. Los rayos -X convencionales no son capaces de medir con precisión la profundidad de la lesión en sus

etapas tempranas y debido a la exposición a radiaciones ionizantes que esta técnica incluye no son indicados para un monitoreo regular [11].

Estas desventajas han motivado el uso de técnicas de espectroscopia óptica de imagen que pueden detectar el decaimiento dental en sus etapas iniciales y al mismo tiempo proveen luz con longitudes de onda compatibles biológicamente que permiten un monitoreo regular de este decaimiento. Las técnicas de imagen consisten en la iluminación de los dientes utilizando luz, con longitudes de onda en el infrarrojo cercano, proveniente de una lámpara halógena y en la adquisición de imágenes de cada sección del diente utilizando foto-detectores.

CONCLUSIONES

- En las secciones anteriores de este artículo se ha intentado explicar la importancia del uso de la luz, como una herramienta importante, en la investigación científica. Especialmente se han dado ejemplos de la aplicación de las técnicas de espectroscopia óptica en diferentes campos de la ciencia y la tecnología. Una de las características más importantes del uso de la espectroscopia óptica es la forma no-invasiva de este tipo de técnica. Es decir, los sistemas físicos que se analizan no son destruidos ni dañados durante la realización de los experimentos.
- Esto implica una gran ventaja para la investigación científica ya que las muestras que se analizan pueden seguir siendo utilizadas para construir dispositivos que interesan sin perder ninguna cantidad del material en investigación o para continuar investigándolas con otro tipo de técnicas experimentales complementarias.
- Por esta característica la espectroscopia óptica representa una herramienta importante para el monitoreo e investigación "in-situ" de procesos de fabricación de nuevos materiales, de contaminantes en aguas, suelos y aire, de enfermedades, y de procesos biológicos, físicos y químicos que nos conduzcan a un desarrollo sostenible.
- Todas estas aplicaciones importantes de la espectroscopia óptica en diferentes campos de la ciencia y la tecnología evidencian el desarrollo que se podría obtener en nuestro país si se hiciese el esfuerzo de aplicar estas técnicas en las investigaciones científicas que se realizan.
- En la Universidad de El Salvador ya se ha comenzado con este esfuerzo. En la actualidad ya se cuenta con cierta infraestructura para la aplicación de este tipo de técnicas y se está trabajando en la obtención de más equipamiento que permita en un futuro cercano contar con un laboratorio de espectroscopia óptica al más alto nivel para ser utilizado en diferentes tipos de investigaciones multi-disciplinarias.
- Para mayor información comunicarse con el Dr. Carlos Rudamas en la siguiente dirección electrónica: carlos.rudamas@uv.es ó llamar al teléfono (503) 7320-7304.

Referencias

- [1] E. Fick, "Einführung in die Grundlagen der Quantentheorie", Akademische Verlagsgesellschaften, Frankfurt am Main, 1974.
- [2] C. Rudamas, "Caracterización óptica de estructuras cuánticas semiconductoras InGaP/GaAs e InAs/GaAs para zonas activas de diodos láser", Servei de Publicacions. Universitat de València, Valencia, 2003.
- [3] U. Platt, "Modern methods of the measurement of atmospheric trace gases", Physical Chemistry Chemical Physics 1, 5409 (1999).
- [4] P. Karlitschek, et al., "Detection of aromatic pollutants in the environment by using UV-laser-induced fluorescence", Applied Physics B 67, 497 (1998).
- [5] C. Rudamas, et al. "Mini-DOAS measurements of gas emission from power plants in El Salvador", Third International DOAS Workshop, March 22-22, Bremen, Germany, 2006.
- [6] B. Dreyer, et al., "Autofluorescence detection of arbuscular mycorrhizal fungal structures in palm roots: an underestimated experimental method", Mycological Research 100, 887 (2006).
- [7] PHO, "Health Statistic from the Americas, Edition 2006", Washington, 2006.
- [8] M. A. Arnold, "Non-invasive glucose monitoring", Current Opinion in Biotechnology 7, 46 (1996).
- [9] GLOBOCAN 2002 database, Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (ICAR), <http://www-dep.iarc.fr/>. 2002.
- [10] P. Wyss, et al., "Photodynamic therapy of locoregional breast cancer recurrences using a chlorine-type photosintetizer", International Journal of Cancer 93, 721 (2001).
- [11] R. S. Jones, et al., "Near infrared transillumination at 1310-nm for the imaging of early dental decay", Optics Express 11, 2259 (2003).