

LA IMPORTANCIA DE LA LUZ EN LA CIENCIA

L.C. Gómez-Pavón, A. Luis-Ramos¹, G.J. Lozano-Perera¹, R.G. Coxca-Gutierrez
N.E. González-Sierra¹, J.G. Ortega-Mendoza², F. Chávez³, G.F. Pérez-Sánchez³ y
P. Zaca-Morán³

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, BUAP, Puebla, México

²División de Ingenierías, UPT, Hidalgo, México

³Instituto de Ciencias, BUAP, Puebla, México

*corresponding author: zmoran_placido@icloud.com

RESUMEN

En el presente trabajo se destaca la importancia de la luz en la ciencia. Se abordan de una manera sencilla la descripción de la naturaleza de la luz y algunos de los fenómenos particulares que tienen que ver con este tipo de energía. Se destacan trabajos basados en la luz realizados por los autores de este artículo en sus diferentes áreas de investigación tales como la fabricación de nanoalambres de fibra óptica, el análisis de la propagación de ondas en este tipo de fibras y la fotodeposición de materiales nanoestructurados sobre fibras ópticas para la implementación de dispositivos fotónicos. Adicionalmente se incluyen las aplicaciones de estos trabajos de investigación en la biología, sistemas de comunicación así como aplicaciones para el sensado de gases.

ABSTRACT

In this paper the importance of light in science stands. They are addressed in a simple way the description of the nature of light and some of the particular phenomena that deal with this type of energy. They based on the light by the authors of this article in different research areas such as the manufacture of fiber optic nanowires, analysis of wave propagation in this type of fibers and materials photodeposition work on nanostructured fibers stand optics for the implementation of photonic devices. Further applications of these research in biology, communications systems and applications for gas sensing are included.

Introducción

La luz es un fenómeno que se ha estudiado desde hace mucho tiempo, por ejemplo los griegos suponían que la luz emanaba de los objetos y era descrita como algún tipo de espectro que emanaba del observador e inclusive algunos personajes llegaron a considerar la existencia del éter como un medio de transmisión de la luz. Fue Newton quien formuló la primera hipótesis seria sobre la naturaleza de la luz y propuso que ésta estaba formada por pequeños corpúsculos que salían de los objetos luminosos y que al impactar en el ojo permitían la observación de los objetos de donde habían partido. Posteriormente Huygens propuso una hipótesis más completa al considerar que la luz es un fenómeno ondulatorio y de naturaleza semejante al del sonido [1].

Posteriormente, Michelson en un experimento mostrado en la figura 1, determinó que en realidad no existía alguna prueba de que el mundo estaba sumergido en una especie casi mágica llamada éter en donde la luz pudiera propagarse. J.C. Maxwell en 1865 demostró con la teoría electromagnética que la luz es una onda capaz de propagarse en el vacío a una velocidad de 299,792,458 m/s resolviendo así el problema del éter y el descubrimiento de nuevas ondas [2].

En los últimos años la búsqueda por la comprensión del comportamiento de la luz a escalas muy pequeñas ha llamado la atención en las distintas áreas de la ciencia y la tecnología, debido a que la luz presenta un comportamiento muy distinto en tales dimensiones [3]. Por ejemplo, los dispositivos a base de fibra óptica han despertado un gran interés al reducir sus dimensiones para el desarrollo de dispositivos y sistemas a pequeña escala [4].



Figura 1. a) Interferómetro de Michelson, b) A. A. Michelson (1852-1931)

Por otro lado, los láseres pulsados de fibra óptica a base de materiales nanoestructurados son sistemas que actualmente se están desarrollando para distintas aplicaciones [5]. Estos sistemas permiten generar un haz de luz láser en forma de pulsos por la interacción de la luz con algunos materiales nanoestructurados, esto sucede debido a las características especiales que presentan algunos materiales en tamaños nanométricos. Estos láseres tienen aplicaciones principalmente en las comunicaciones, procesamiento de señales, diagnósticos biomédicos y metrología óptica [6].

En este trabajo se reportan algunos resultados relevantes que los autores de este artículo han encontrado en sus diferentes líneas de investigación basados en los efectos de la luz y la interacción con los materiales, en particular con láseres, nanopartículas y fibras ópticas. Se describen algunas de las aplicaciones en donde los materiales nanoestructurados interactúan con la luz para implementar dispositivos o sistemas que pueden ser utilizados en sensado de gases, comunicaciones, medicina, etc.

La naturaleza de la luz

Actualmente, se sabe que la luz es una pequeña parte de la radiación electromagnética y que se puede definir como una onda o una partícula cuya energía ha sido liberada de un átomo en forma de un fotón. Esta interacción entre luz y materia está bien establecida en el campo de la óptica cuántica. Las bases de esta teoría fueron asentadas por el físico alemán Max Planck, que en 1900 postuló que la materia sólo puede emitir o absorber energía en pequeñas unidades discretas llamadas cuantos, es decir, la naturaleza de la luz posee la extraña cualidad de moverse en determinados orbitales sin consumir energía, pero cuando caen a un orbital inferior, de menor energía, emiten energía en forma de radiación como se muestra en la Figura 2.

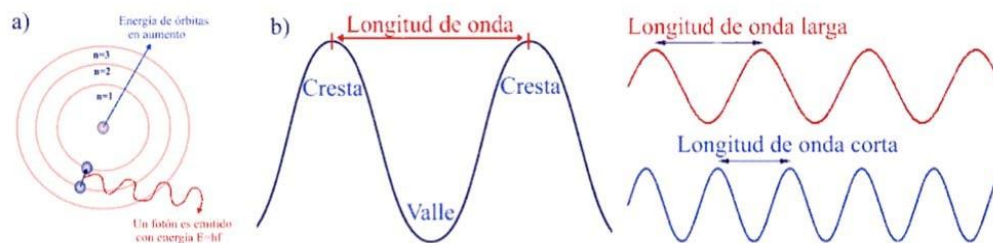


Figura 2. a) Modelo atómico en donde se muestra la interacción entre la energía y la materia, b) modelo de una onda

Posteriormente, Einstein describió que la energía de la luz no se difunde uniformemente, por el contrario, se concentra en ciertas regiones comportándose como partículas denominadas

fotones. Así, se obtuvieron dos diferentes teorías para describir la naturaleza de la luz: La teoría de ondas y de partículas. Por esta razón, la luz tiene un comportamiento dual, es decir, un comportamiento como onda y un comportamiento como partícula [7].

Actualmente, se sabe que existen otros tipos de ondas electromagnéticas por ejemplo los rayos gama, rayos x, microondas y las ondas de radio que son similares a la luz pero que tienen un la longitud de onda diferente (la distancia mínima entre dos puntos de una onda). El conjunto de estas ondas forman el espectro electromagnético, en donde las ondas de luz visible para el ser humano están entre los 400 y 700 nanómetros (la millonésima parte de un metro). En la figura 3, se aprecian las distintas ondas que conforman el espectro electromagnético destacando que el espectro visible es el rango de longitudes de onda en donde el ser humano puede ser capaz de distinguir el mundo que lo rodea.

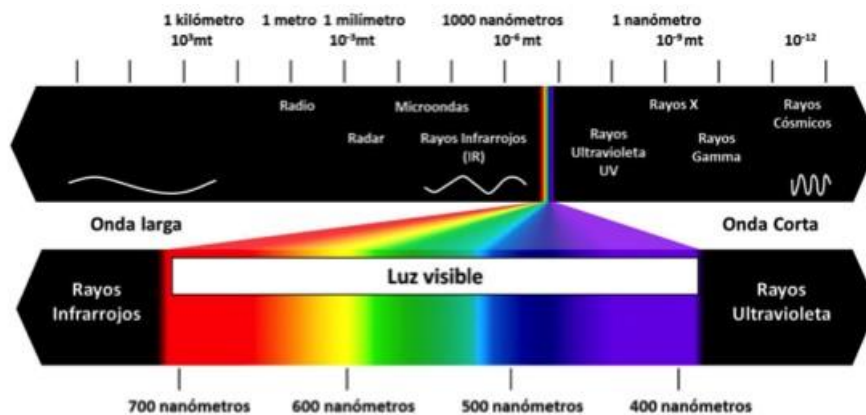


Figura 3. Espectro electromagnético

Por otra parte, cuando la luz interacciona con la materia se pueden presentar diferentes fenómenos, los cuales se dividen en efectos lineales y no lineales. Los fenómenos de la óptica lineal suceden cuando la interacción de la luz con la materia no modifica las propiedades de onda y se presentan cuando la intensidad de luz es moderada o baja, Figura 4. Las franjas de colores que se observan en una burbuja de jabón antes de que se rompa, la imagen observada en un espejo, la distorsión que se aprecia al sumergir un lápiz en un vaso con agua, las gafas que nos protegen del sol o el límite de la resolución en un microscopio, son fenómenos lineales que luz presenta a bajas intensidades, es decir, se trata de propiedades como interferencia, reflexión, refracción y difracción de la luz.

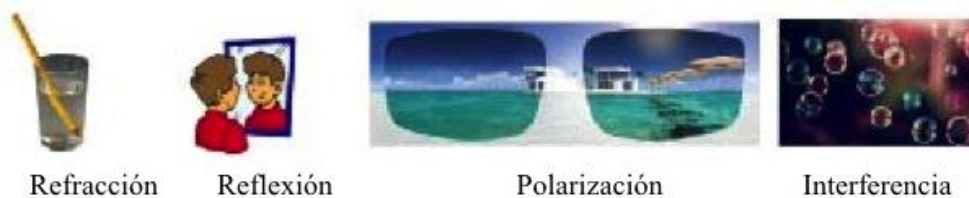


Figura 4. Fenómenos que ocurren bajo la influencia de la luz

Sin embargo, cuando estudiamos los efectos de la luz a grandes intensidades nos encontramos con el mundo de la óptica no lineal en el cual algunas de las propiedades características ondulatorias de la luz se ven modificadas. El único detalle es que para estudiar estos efectos siempre es necesario contar con fuentes de gran intensidad como los láseres, por lo que el láser ha jugado un rol importante en esta área de la óptica no lineal cuyos resultados han permitido el desarrollo de un sin número de aplicaciones que afectan directamente en la vida diaria.

Tecnologías basadas en la luz

El láser es una de las tecnologías que más influencia ha tenido en la ciencia y la tecnología [8]. Su funcionamiento se basa en el comportamiento de la materia a nivel atómico y el fenómeno de emisión estimulada es el principio por el cual se lleva a cabo la amplificación de la luz. Esta interacción se lleva a cabo a través de los procesos mostrados en la figura 5. En un proceso de absorción, el electrón de un átomo que se encuentra en su estado base o fundamental tiene la posibilidad de interactuar con un fotón. El electrón en estado base absorbe la energía del fotón y deja su estado base para subir a un estado de excitación, figura 5 a). En el proceso de emisión espontánea, un electrón que se encuentra en estado excitado puede liberar su energía en forma de un fotón y así el electrón regresar a su estado inicial, figura 5 b); este fenómeno sucede en una lámpara, una vela o el sol cuya característica principal es la emisión de la luz en todas direcciones. El proceso de emisión estimulada consiste en que un fotón puede interactuar con un átomo excitado para que este átomo pase a su estado fundamental, lo que produce un nuevo fotón que se suma al fotón incidente, la particularidad, es que el fotón emitido posee las mismas características que el fotón incidente. Estos procesos son los responsables de generar un haz de luz láser que tiene como características su coherencia, monocromaticidad y direccionalidad [9].

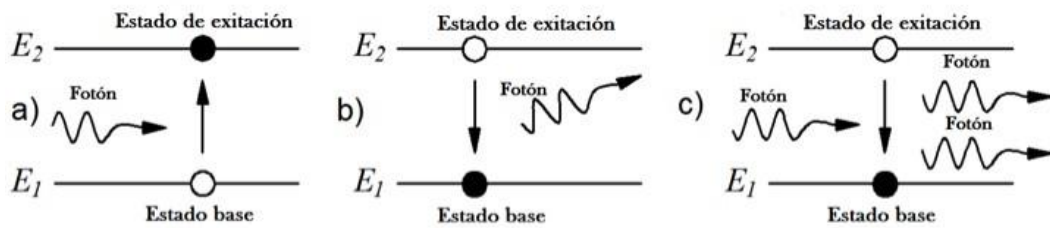


Figura 5. Interacción radiación-materia

El láser con cavidad Fabry-Perot es la configuración más simple, el cual, tiene tres elementos importantes para su funcionamiento los cuales son: El bombeo, medio activo y un par de espejos. El medio activo es la parte en donde se genera el haz de la luz del láser y determina sus propiedades como la longitud de onda, la emisión continua o pulsada y la potencia. Los espejos se utilizan para confinar la luz que se está generando en el medio activo obligando a la luz a quedar atrapada rebotando de un lado a otro entre los espejos. En el arreglo existe un espejo 100% reflejante y otro espejo parcialmente reflejante que es por donde sale parte de la luz. El bombeo es el elemento de excitación atómica necesario para llevar a cabo la amplificación de las ondas en la cavidad. En la figura 6 se muestra el esquema básico de un láser Fabry-Perot con los elementos que lo conforman.

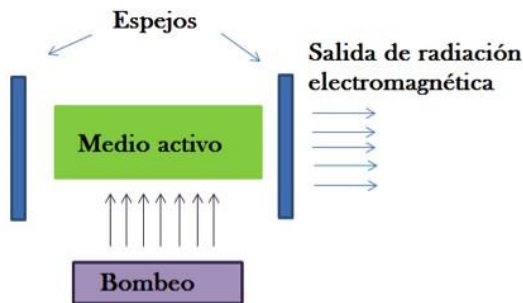


Figura 6. Diagrama de una cavidad láser

Otra de las tecnologías basadas en la luz son las fibras ópticas, dispositivos en los que se aprovecha el fenómeno de reflexión total interna para confinar la luz. Una fibra óptica convencional consiste en un núcleo cilíndrico hecha principalmente de un material (silicio puro o SiO₂), el cual está rodeado por un revestimiento hecho de un material con un índice de

refracción menor que el índice de refracción del núcleo (Germanio, Aluminio o Silicio dopado), como se muestra en la figura 7. La fibra óptica está hecha principalmente de algún tipo de vidrio o plástico, sus características físicas permiten que sean muy extensas (hasta cientos de kilómetros con muy pocas pérdidas) y comparadas con otros medios de transmisión, éstas son flexibles, inmunes a la interferencia eléctrica, ligeras y con gran capacidad de transmisión. Mediante una fibra óptica la luz puede ser transmitida de un punto a otro, viajando a través de los océanos para aplicaciones en las telecomunicaciones.



Figura 7. a) Diagrama esquemático de una fibra óptica, b) Aplicaciones de las fibras ópticas en las comunicaciones

La luz ha generado un gran impacto en el caso de las energías renovables mediante la conversión de la energía natural en utilizable. Un ejemplo son las celdas fotoeléctricas o solares las cuales son dispositivos electrónicos que permiten transformar la energía luminosa en eléctrica mediante el aprovechamiento del efecto fotoeléctrico, figura 8. El funcionamiento se basa en que la luz que llega en forma de fotones, impacta sobre una superficie construida por silicio de tal manera que emite electrones que al ser capturados producen una corriente eléctrica.

Uso de la luz a nanoescala

La interacción de la luz con materiales a escala nanométrica es un área de investigación nueva. Esta área trata con materiales de tamaños muy pequeños, de apenas unas milésimas de millón de metro, debido a que a estas escalas los materiales nanoestructurados pueden presentar propiedades desconocidas en comparación a los de escala mayor. Por ejemplo, para el desarrollo de sensores ultrasensibles utilizados en sistemas de navegación, en la industria de los semiconductores, diagnóstico de enfermedades, etc.

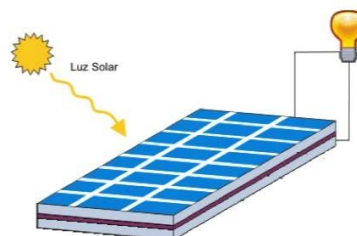


Figura 8. Sistema de paneles solares

La tecnología de cristales fotónicos pretende crear un chip que utilice luz en lugar de electricidad para procesar información y esto supone usar nanotecnología para grabar minúsculos componentes en dispositivos electrónicos, de modo que el índice de refracción cambie con cada componente, figura 9. Una ventaja de los transistores que utilizan luz en vez de electricidad es que las pérdidas por calor son mínimas [10].

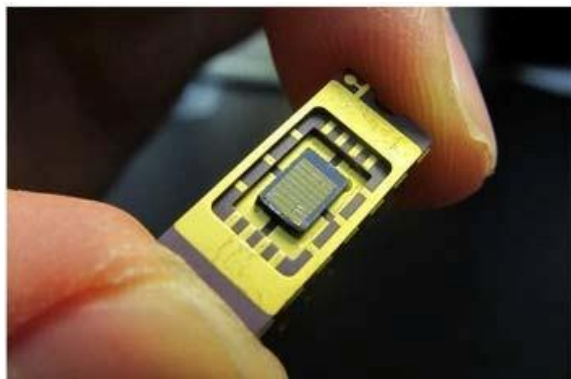


Figura 9. Transmisión de datos a nanoescala a basados en la luz

En la actualidad, se desarrollan microsensores basados en efectos plasmónicos (interacción de la luz con nanopartículas metálicas) que se utilizan en múltiples aplicaciones de sensado, figura 10. Los microsensores ópticos tendrán la ventaja de ser más sensibles, pequeños, rápidos y capaces de funcionar detectando varios compuestos y realizar tareas de monitoreo simultáneamente [11]. La interacción de la luz con nanoestructuras: nanoagujeros, nanoantenas o nanopartículas inferiores a la longitud de onda es lo que hace posible el desarrollo de estos microsensores.



Figura 10. Fabricación de componentes electrónicos con nanocables a base de luz

Actividades desarrolladas con luz por los autores

El cuerpo académico de Sistemas Fotónicos y Nanoóptica de la Facultad de Electrónica de la BUAP ha llevado a cabo estudios sobre la fabricación de nanoalambres de fibra óptica y análisis de simulación del comportamiento de la luz en fibras muy delgadas. Los nanoalambres de fibra óptica se fabrican mediante la técnica de barrido de flama (flame-brushing), el cual consiste en el estiramiento de una fibra óptica convencional mediante un sistema mecatrónico como se muestra en la figura 11 a). En la figura 11 b), se pueden observar los diferentes grados de estiramiento de una fibra hasta obtener diámetros menores a 500 nm. La importancia de obtener fibras nanométricas radica en la implementación de sistemas miniaturizados para aplicaciones en sistemas de sensado con mayor sensibilidad, bajas dimensiones, de bajo consumo de potencia y de rápida respuesta [12].

Otra de las líneas de investigación asociadas al diseño de los nanoalambres es sobre las fuentes de radiación de gran intensidad llamados campos evanescentes mediante un simulador especializado en el diseño de dispositivos fotónicos. En el estudio sobre campos evanescentes en fibras muy delgadas se analizan los efectos de la luz en el contorno exterior de la fibra y su interacción con el medio para aplicaciones de sensado. En la figura 12, se puede observar cómo es que un campo envolvente de una fibra óptica interacciona con la interfaz núcleo-revestimiento.

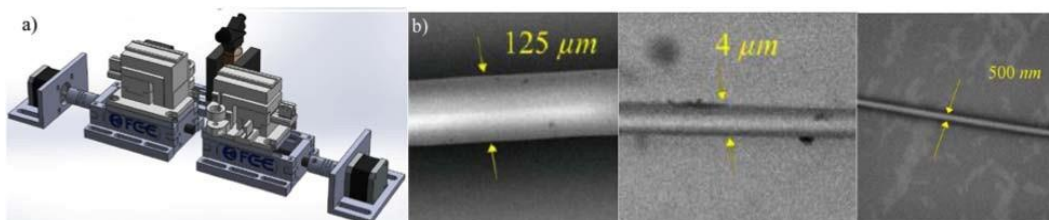
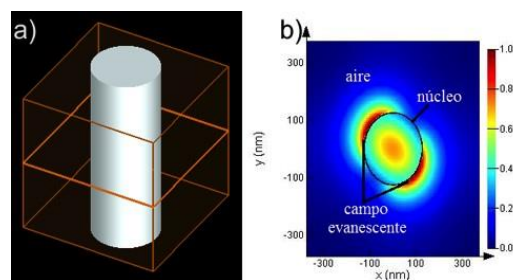


Figura 11. a) Modelo del ensamble del sistema para la implementación, b) Microscopía electrónica de las nanofibras obtenidas [12]

Figura 12. a) Diseño de una fibra óptica nanométrica, b) representación de la intensidad de la energía propagada fuera de una fibra óptica nanométrica desde una vista frontal



En el departamento de Físicoquímica de Materiales se han realizado estudios sobre la fotodeposición de nanopartículas metálicas sobre el núcleo de fibras ópticas utilizando una fuente láser.

El arreglo experimental para el proceso de fotodeposición se puede observar en la figura 13. El arreglo consiste en un láser de fibra óptica con emisión a una longitud de onda de 1550 nm y una solución de partículas metálicas en alcohol isopropílico. Los estudios han demostrado que la interacción entre las fuerzas ópticas son los responsables del proceso de fotodeposición, el cual tiene su origen en la interacción radiación-materia [13]. Los resultados pueden ser observados en la misma figura los cuales muestran una distribución uniforme de nanopartículas sobre una fibra óptica. Los estudios de esta técnica pueden tener aplicaciones potenciales en el área de respuesta óptica ultrarrápida, superparamagnetismo, propiedades ópticas no lineales, resonancia de plasmones de superficie, entre otras.

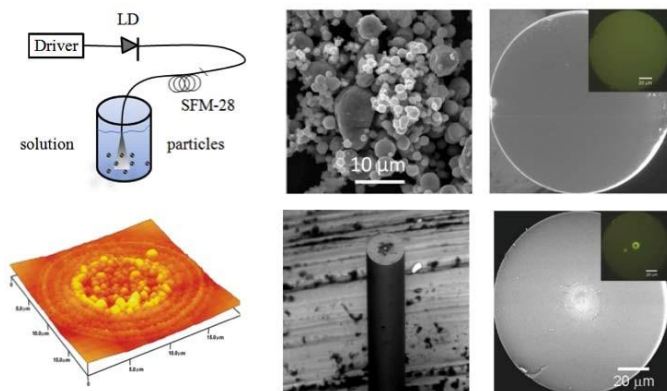


Figura 13. Arreglo experimental del proceso de fotodeposición de materiales nanoestructurados y los resultados obtenidos por microscopía de barrido electrónico y de fuerza atómica de los materiales depositados sobre una fibra

Una de las propiedades que actualmente son estudiadas en los nanomateriales depositados sobre fibras ópticas son los efectos no lineales, que como se mencionó anteriormente es necesario utilizar intensidades muy altas. Entonces para llevar a cabo este tipo de estudios es necesario un sistema que proporcione tales intensidades como el mostrado en la figura 14. Este arreglo tiene la capacidad de proporcionar una intensidad de salida de hasta 1000 W/cm^2 , el cual lo hace ideal para llevar a cabo el estudio de las propiedades no lineales de dispositivos fotónicos, entre ellos los materiales depositados sobre una fibra óptica [14].

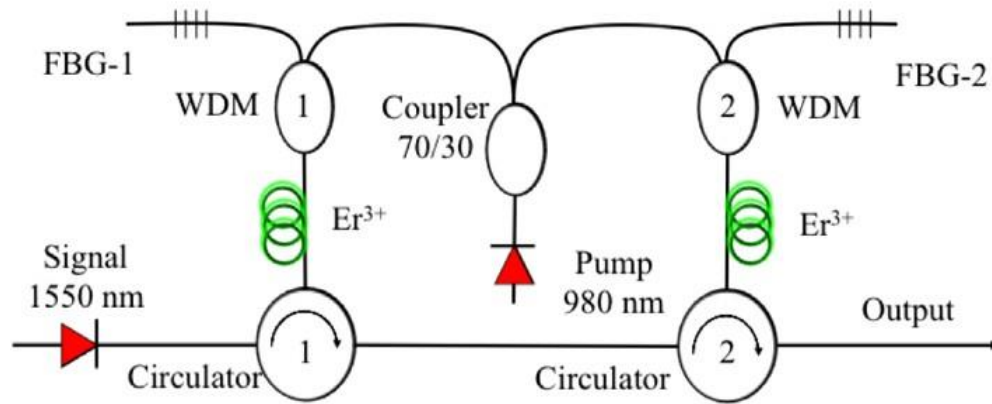


Figura 14. Arreglo experimental de un láser de alta ganancia

Aplicaciones

Actualmente se está trabajando en el estudio, diseño, implementación y caracterización de un sistema de sensado de gases utilizando los nanoalambres de fibra óptica, así como la influencia de los campos evanescentes cuando interactúan con los materiales nanoestructurados.

Por otra parte, la técnica de fotodeposición ha sido utilizada para aplicaciones en la cauterización, cuagulación y hemostasia en vasos sanguíneos. Pruebas experimentales de interrupción de flujo sanguíneo han sido llevadas a cabo en ratas. Los resultados muestran que la fuente de calor oblitera el músculo liso de los vasos sanguíneos concadenando mutuamente al tejido en un tiempo promedio de 3-5 segundos; al mismo tiempo, los elementos sanguíneos encargados de la coagulación se activan térmicamente y se consigue cortar la hemorragia.

Figura 15. Micracuterización sobre la lesión de una rata



Adicionalmente, la técnica de fotodeposición también se ha utilizado en la implementación de un sensor para medir índices de reflexión en medios acuosos cuyo principio se basa en el desplazamiento de la longitud de onda del pico de absorción cuando luz policromática interacciona con la solución y las nanopartículas; estos resultados son mostrados en la figura 16 [11].

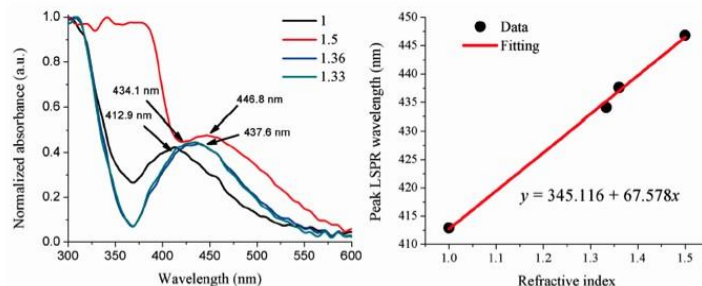


Figura 16. Respuesta del sensado de diferentes soluciones

Finalmente, la misma técnica de fotodeposición está siendo estudiada para la implementación de un láser pulsado de fibra óptica usando materiales nanoestructurados como dispositivos de conmutación [14]. El objetivo es la implementación de absorbentes saturables basados en diversos materiales nanoestructurados depositados sobre fibras como se muestra en la figura 17, [15].

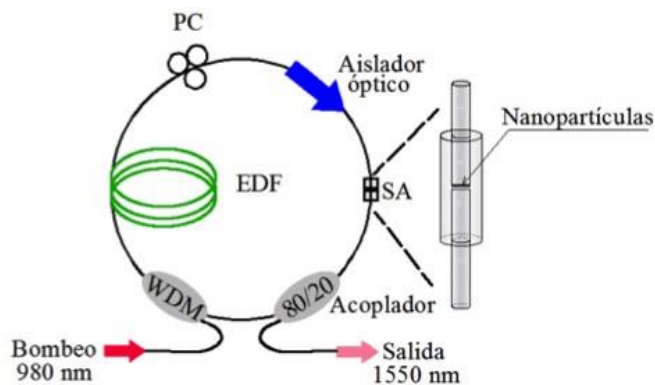


Figura 17. Arreglo experimental de un láser de fibra óptica

Conclusiones

La luz en la ciencia ha tenido gran importancia e impacto en el desarrollo de la humanidad así como en las actividades de investigación que se realizan en la actualidad. Desde el principio se buscó conocer cada una de sus características y los fenómenos alrededor de la luz hasta poder desarrollar diferentes aplicaciones que en la actualidad son de gran utilidad y a pesar de los grandes avances en la ciencia y tecnología aún queda mucho por descubrir y desarrollar.

Referencias

- [1] A. P. Maiztegui, J. A. Sabato, Introducción a la física 2 (Kapelusz, 1972), Cap. 1.
- [2] P. Zaca Morán, "Deposito de nanomateriales sobre fibras ópticas," *Materiales Avanzados*, UNAM, 19, 37-42 (2012), ISSN 1665-7071.
- [3] L. Novotny y B. Hecht, *Principles of Optics* (Cambridge, 2012) pp. 8-11.
- [4] L. Tong y M. Sumetsky, *Subwavelength and Nanometer Diameter Optical Fibers* (Springer, 2010), Cap.1.
- [5] J.C. Ramirez-San-Juan, J.P. Padilla-Martinez, P.Zaca-Morán, and R. Ramos-Garcia, "Micro-hole drilling in thin films with cw low power lasers," *Optical materials express*, 1(4) 598-604, (2011).
- [6] Z. Sun, A. G. Rozhin, F. Wang, V. Scardaci, W. I. Milne, I. H. White, F. Hennrich, A. C. Ferrari, "L-band ultrafast fiber laser mode locked by carbon nanotubes," *Appl. Phys. Lett*, 93, 1-3 (2008).
- [7] D.W. Ball, "The Baseline, Light: Particle or Wave? *Spectrosc.*, 21(6), 30-33 (2006).
- [8] J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Estudillo-Ayala, D. Jauregui-Vazquez, A. D. Guzmán-Chávez and P. Zaca-Moran, "A tunable multi-

wavelength erbium doped fiber laser based on a Mach-Zehnder interferometer and photonic crystal fiber," *Láser Phys.*, 23, 1-6 (2013).

- [9] B. A. Fernández, R. B. Varillas, C. H. García, J. A. P. Hernández, C. R. Sánchez, *El láser, la luz de nuestro tiempo*, Edit. OSA. Salamanca, Cap. 2 (2010).
- [10] M. Kaku, *física de lo imposible*, (Penguin, 2010), Cap. 2.
- [11] J. G. Ortega-Mendoza, A. Padilla-Vivanco, C. Toxqui-Quitl, P. Zaca-Morán, D. Villegas-Hernández and F. Chávez, "Optical fiber sensor based on localized surface plasmon resonance using silver nanoparticles photodeposited on the optical fiber end," *Sensors*, 14, 18701-18710 (2014).
- [12] A. Rodríguez-Sánchez, L. C. Gómez-Pavón, A. Luis Ramos, G. F. Pérez-Sánchez, J. M. Muñoz-Pacheco, O. G. Félix-Beltrán, P. Zaca-Morán, "Sistema mecatrónico para la fabricación de nanoalambres de fibra óptica," *SOMI*, 1-7 (2014).
- [13] J. G. Ortega-Mendoza, F. Chávez, P. Zaca-Morán, C. Felipe, G. F. Pérez-Sánchez, G. Beltran-Pérez, O. Goiz, and R. Ramos-García, "Selective photodeposition of zinc nanoparticles on the core of a single- mode optical fiber," *Optics Express*, 21(5), 6509-6518, (2013).
- [14] P. Zaca-Morán, E. Kuzin, J. Torres-Turiján, J.G. Ortega-Mendoza, F. Chávez, G.F. Pérez-Sánchez, and L.C. Gómez-Pavón, "High gain pulsed erbium-doped fiber amplifier for the nonlinear characterization of SWCNTs photodeposited on optical fibers," *Optics & Laser Technology*, 52, 15-20, (2013).
- [15] R. Grajales-Coutiño, B. Ibarra-Escamilla, E.A. Kuzin, J. Gutiérrez-Gutiérrez, O. Pottiez y P. Zaca- Moran, "Láser de fibra de amarre de modos de figura ocho basado en un espejo de lazo óptico no lineal simétrico," *Revista Mexicana de Física*, 53(5), 380-385, (2007).

