CUATRO DÉCADAS DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA EN LA CUJAE

FOUR DECADES OF OPTICS RESEARCH AT CUJAE

M. González[a†], L. Ruqué[a]

Departamento de Física, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae), Cuba; mgonzalezp@automatica.cujae.edu.cu[†]
† autor para la correspondencia

Recibido 9/5/2018; Aceptado 29/5/2018

Desde la década de 1970, la Cujae ha sido una institución pionera en las investigaciones en óptica en Cuba. Varios departamentos y facultades de esta universidad han desarrollado proyectos de investigación en esa rama. Muchos de sus integrantes han sido o son miembros de la Sociedad Cubana de Física, la cual celebra este año su 40 aniversario. En el marco de esta celebración se presentan los principales resultados obtenidos en la Cujae en el campo de la óptica.

Since the 70's decade, Cujae has been a pioneer institution in the field of optics research in Cuba. Some faculties and departments of this university have developed research projects on the field. Many of its affiliates are former or current members of the Cuban Physics Society, which is celebrating its 40th anniversary this year. In this scenario, the main achievements of Cujae in the optics field are presented.

PACS: History of Science (Historia de la ciencia), 01.65.+g; optics (óptica), 42; physics education (educación en física), 01.40.-d.e

I. INTRODUCCIÓN

En los inicios del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), actual Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (Cujae), las investigaciones en el campo de la física se enfocaron al desarrollo de la microelectrónica y luego a la óptica.

El antiguo Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad también comenzó a participar en actividades de investigación. Se formaron grupos para el trabajo con microelectrónica, holografía y láser.

El Departamento de Física de la Cujae ha sido el centro de referencia nacional en la enseñanza de la Física a los ingenieros. Algunos de sus miembros estaban vinculados al campo de la microelectrónica en el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME). Sin embargo, los principales resultados científicos se obtuvieron en el campo de la óptica [1].

Otras facultades y departamentos han sido exponentes de las investigaciones en óptica. Entre los principales se encuentran las Facultades de Ingeniería Eléctrica, Mecánica, Automática y Biomédica, y la Cátedra Científica de Ciencias para la Vida.

En artículos anteriores se ha abordado el tema del desarrollo de las investigaciones en óptica en Cuba (ver [2]), donde se ha señalado a la Cujae como uno de sus principales exponentes. Sin embargo, no se ha realizado una descripción detallada de sus resultados en esta materia, especialmente en el período del actual siglo.

En el presente artículo, se presenta un resumen de las principales investigaciones dentro de la Cujae en el campo de la óptica.

II. LOS INICIOS CON EL GRUPO DE ÓPTICA

En 1975 se creó el Grupo de Óptica con el propósito de construir un láser de colorante empleando rodamina 6G. El mismo perteneció al Departamento de Física de la Cujae, pionero en las investigaciones en óptica en Cuba. Esta fue una gran experiencia para los trabajos de diseño y construcción de láseres en la década posterior, a pesar de que este láser no logró fabricarse completamente [2].

El trabajo en el campo de la óptica en la Cujae se afianzó mucho más en los años ochenta del siglo XX [1]. A propuesta de Ángel Augier, en 1983 se crea la Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) "Óptica Coherente" dentro de la antigua Facultad de Ingeniería Electrónica de la Cujae.

Se abordaron varias líneas de trabajo: el diseño y construcción de láseres y la holografía, con el apoyo de láseres de helio neón (He-Ne) y placas fotográficas Agfa Gevaert donadas por Canadá, así como las técnicas de *speckle* o moteado. En el área de comunicación óptica se emplearon diodos emisores de luz infrarroja para crear un canal de comunicación entre las oficinas centrales de la Academia de Ciencias de Cuba, en el edificio del Capitolio, y otras instituciones de la Academia [1,2].

El Grupo de Óptica logró la aprobación de una patente sobre un equipo para la determinación de velocidades mediante *speckle*-interferometría electrónica [3].

III. GRUPO DE HOLOGRAFÍA

El Grupo de Holografía del Departamento de Física, con el apoyo del Consejo Nacional de Patrimonio Cultural, comenzó a desarrollar en 1985 un proyecto para la aplicación

de la holografía con fines artísticos e históricos. La dirección corrió a cargo de Beatriz Moreno y Rolando Serra.

La primera etapa consistió en crear un laboratorio holográfico en el Museo Nacional de Bellas Artes, que fue el primero de su tipo en Iberoamérica y permitió la realización de trabajos de holografía artística.

En este empeño, el Grupo de Holografía inició los trabajos de implementación en Cuba de esta técnica, realizando durante varios años todo el trabajo experimental requerido de puesta a punto de la técnica y las instalaciones en los laboratorios del departamento. El primer resultado fue la obtención de hologramas de reliquias del General Antonio Maceo que integran la exposición holográfica de la Plaza Antonio Maceo de Santiago de Cuba.

Posteriormente, se continuó la generalización de la aplicación de la holografía a la museología, con la realización de varias exposiciones holográficas que se encuentran en importantes museos del país. Entre las piezas importantes holografiadas se encuentra la medalla correspondiente al Premio Nobel de Literatura otorgado a Ernest Hemingway (Fig. 1), el revólver y objetos personales del Héroe Nacional José Martí y el machete perteneciente al Mayor General Antonio Maceo [2,4].

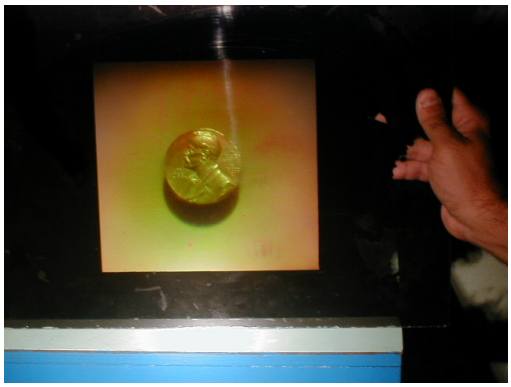

Figura 1. Holograma de la medalla del Premio Nobel de Ernest Hemingway.

Se logró la aprobación de tres patentes: sobre un procedimiento para el procesamiento de hologramas de reflexión en emulsión Agfa Gevaert 8E75 HD, un sistema para la producción de hologramas de imagen enfocada y otro para la producción de hologramas de arcoiris [5–7].

A partir del 1985 y a solicitud de investigadores del departamento de Metrología de la Facultad de Ingeniería Mecánica, el Grupo de Holografía inicia la introducción y la instrumentación de técnicas de Moiré para la solución de diferentes problemas ingenieriles presentes dentro de la metrología de superficies. Bajo la dirección de Beatriz Moreno, se comienza la instrumentación del Moiré de sombra y las franjas proyectadas para el estudio del desgaste de piezas mecánicas.

La primera investigación del cuerpo humano utilizando el Moiré de sombra se realizó en la caracterización de la espalda y los miembros inferiores a un atleta de alto rendimiento. Posteriormente se estudiaron pacientes del Hospital Hermanos Ameijeiras que padecían de escoliosis.

En el año 1988, se construye en la Cujae el primer bisturí láser de CO_2. Se desarrollaron dos bisturíes láseres (BL1 y BL2) con una potencia de salida de 40 W. Se emplearon en cirugía general, necrectomías y otras intervenciones quirúrgicas en el Hospital "General Calixto García Íñiguez" de La Habana.

Posteriormente, se diseñaron y construyeron láseres de neodimio YAG en regímenes de generación libre y de sincronismo de modos, de rubí con generación libre de pulsos de 0.5 J y un conmutador pasivo de centros de color, que fue utilizado para realizar hologramas. Se construyó también una Instalación Tecnológica Láser de 400 W de potencia denominada "ITELA".

Los trabajos de fabricación de láseres fueron dirigidos por Luis Martí, quien recibió en 2012 la Orden Carlos J. Finlay de manera póstuma [1,2].

En la década de los noventa del siglo XX, el profesor Alfredo Moreno coordina con el Dr. Reinaldo Junco, ortopédico del Hospital Infantil "William Soler" de La Habana, la realización de una investigación sobre deformaciones de la espalda en adolescentes, utilizando la técnica de Moiré instrumentada. Esta investigación tuvo el fin de valorar su uso como técnica complementaria en el diagnóstico, seguimiento y estudio de enfermedades del sistema osteomuscular en grandes poblaciones. Se estudiaron 312 adolescentes de dos Escuelas Secundarias Básicas Urbanas con la colaboración de Dra. Rita Abreu. A finales de esta década se incorpora la técnica de la iluminación estructurada para el estudio del pie durante la marcha.

Adicionalmente, se realizó un montaje experimental de holografía digital con el que se obtuvieron hologramas para calcular el dislocamiento de objetos en condiciones de inmersión. La reconstrucción de las imágenes holográficas se realizó a través del cálculo de la integral de difracción de Fresnel-Kirchhoff [8]. Este trabajo fue realizado por José L. Valín, de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Cujae, en colaboración con la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Oriente (UO). Ambas universidades contaron con el apoyo de la Fundación para la Ciencia y la Tecnología del Ministerio de Ciencias y de Enseñanza Superior de Portugal.

Los colaboradores del Grupo de Holografía recibieron en 2010 por parte de la Academia de Ciencias de Cuba el Premio Nacional a los Resultados de la Investigación Científica por el trabajo "Contribución al Desarrollo de las Técnicas Ópticas Holográficas y de Moiré".

En 2011 se constituyó dentro de este grupo un proyecto de construcción de anaglifos, orientado a demostrar que esta técnica es una importante herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza aprendizaje. El proyecto fue desarrollado por estudiantes de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Cujae. Con la colaboración de estudiantes del Hospital "Salvador Allende", se logró acceder a la morgue y tomar fotografías a preparados anatómicos para utilizarlos en la fabricación de anaglifos para la descripción de los huesos del cráneo (Fig.

2), y que constituyeron los primeros desarrollados en Cuba para aplicaciones en la Ingeniería Biomédica.

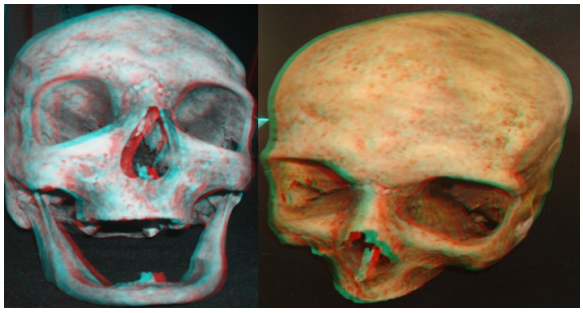

Figura 2. Anaglifos de preparados anatómicos correspondientes a dos cráneos utilizados para la docencia.

IV. GRUPO DE FÍSICA APLICADA

El Grupo de Física Aplicada se crea en 2012 y entre sus principales investigaciones están las dedicadas a la óptica. El proyecto de innovación tecnológica titulado "Desarrollo de técnicas de Holoimágenes y Ensayos Ópticos no Destructivos", ha mantenido los objetivos del desaparecido Grupo de Holografía y propuso otros al adjuntarse luego al Grupo de Física Aplicada. Entre estos propósitos está desarrollar y construir pantallas y lentes holográficas de alta eficiencia de difracción para su utilización en las investigaciones sobre televisión holográfica y en estereoscopía para aplicaciones médicas. Además, se han desarrollado técnicas de *speckle* y Moiré para su utilización en ensayos no destructivos aplicados a la industria y la medicina; y dos sistemas de visión 3D, uno con la utilización de pantallas holográficas y otro auto-estereoscópico [9–11], ambos para aplicaciones médicas.

Este proyecto ha logrado la aprobación de una patente sobre un Sistema Holográfico Multi-estereoscópico para la Visualización de Imágenes Médicas [12]. El proyecto ha obtenido tres premios nacionales en los Foros de Ciencia y Técnica y en 2012 Rolando Serra recibió la Orden Carlos J. Finlay por sus investigaciones.

Enmarcado en el proyecto entre la Universidad de Campinas en Brasil y el Ministerio de Educación Superior, titulado "Desarrollo de técnicas ópticas para la caracterización y visualización tridimensional de dolencias neurológicas", el grupo logró resultados del análisis de imágenes microscópicas de los patrones *speckle* dinámicos del axón de un calamar gigante activado mediante impulsos eléctricos. El objetivo fue combinar la técnica de *speckle* con procesamiento digital de imágenes para estudiar los efectos del potencial de acción en las propiedades ópticas de la membrana del axón. El montaje experimental para lograr los patrones *speckle* utilizó un láser He-Ne de 632 nm de longitud de onda y 6 mW de potencia [13].

Además, se desarrollaron investigaciones empleando patrones *speckle* durante la expansión del surfactante pulmonar y un análisis morfológico en el procesamiento óptico-digital de imágenes para el diagnóstico de la disquinesia ciliar [14].

V. CÁTEDRA CIENTÍFICA DE CIENCIAS PARA LA VIDA

La Cátedra Científica de Ciencias para la Vida es un proyecto perteneciente a la Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica que tiene como temática las investigaciones con impacto local en la salud. A partir del año 2010, la Cátedra define una estrategia de desarrollo e innovación tecnológica en el área de la terapia con luz. Las investigaciones tuvieron como resultado la aplicación de la radiación láser y de luz no coherente de diferentes longitudes de onda, al impulsar el diseño e implementación de nuevos equipos donde se utilizaron láseres de baja potencia y diodos emisores de luz (ledes) de alta eficiencia como elementos terapéuticos o activos.

Se desarrollaron varios modelos de equipos como parte de las tesis de grado de estudiantes de la carrera Ingeniería Biomédica. Estos equipos se utilizaron también en investigaciones y tesis de maestría en el área de salud del Centro Interdisciplinario de Salud del municipio de Marianao (Cinsa). Posteriormente, bajo la marca registrada BIOFIE, se desarrollaron prototipos para la investigación en humanos, animales y la agricultura, los cuales hoy forman parte de los productos de la universidad [15]. Las investigaciones estuvieron comandadas por Rubén Herrera, Rolando L. Serra y Nancy de la C. Enrich. Participaron estudiantes de Ingeniería Biomédica y se contó con el apoyo del técnico Eduardo Castaño, y el ingeniero Reinaldo Elosegui, del Departamento de Prototipos de la Cujae. Por el Instituto de Veterinaria "Villena Revolución" participó Milagros Morales.

La Cátedra, en coordinación con el Departamento de Prototipos y el Instituto de Sanidad Vegetal (Inisav) desarrolló el equipo BIOSEM (Fig. 3) de la marca BIOFIE, con aplicaciones en la agricultura para la irradiación de semillas y su mejora en cuanto a velocidad y porciento de germinación, calidad de la plántula y resistencia a la sequía. Por el Inisav participó la ingeniera Nivia Cueto. Este equipo permitió defender una Tesis de Grado [16] y una Tesis de Maestría en colaboración con la Universidad Agraria de La Habana.

Figura 3. Equipo BIOSEM para la irradiación de semillas.

Con los equipos de la marca BIOFIE se han realizado investigaciones relacionadas con el tratamiento del agua al ser irradiada con la luz de ledes de diferentes longitudes de

onda del espectro visible e infrarrojo lejano. Se logró medir parámetros como la temperatura, pH y la conductividad. Estas investigaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ingeniería Química de la Cujae y estuvieron dirigidas por el profesor Arcadio Sotolongo y Nancy de la C. Enrich.

Adicionalmente, en el Departamento de Bioingeniería (CEBIO) y bajo la dirección de Carlos A. Corcho en coordinación con la Cátedra, se desarrollaron otras versiones de estos equipos con ledes de alta eficiencia para ser utilizados en la salud humana y animal [13]. Estas versiones son el BE100, BE200, BE300, K50 mini y K200 (Fig. 4).

Los equipos BIOFIE para medicina veterinaria han sido probados con éxito en investigaciones clínicas en más de 200 animales en "Villena-Revolución", contando con avales de consejos científicos de medicina veterinaria a nivel de base y nacional. Sus resultados han sido presentados en diferentes eventos científicos nacionales e internacionales. Actualmente se utilizan en la Clínica Veterinaria José Luis Callejas en tratamientos oftalmológicos en perros y en el Aviario de Infanta para el tratamiento de enfermedades digestivas, logrando buenos resultados.

Figura 4. Equipos de la familia BIOFIE. De izquierda a derecha: BE200, BE300 y IKG K50 mini.

En el curso 2016-2017 la Cátedra desarrolló una nueva investigación en conjunto con el Inisav. Consistió en el desarrollo de una trampa con luz para el control de la mosca blanca. Contó con la participación de estudiantes de segundo año de Ingeniería Biomédica.

VI. ACTIVIDADES DOCENTES

A petición del Departamento de Física y con el aporte del Grupo de Óptica, en 1979 se abrió una especialidad de posgrado en Holografía Láser. En el año 1995 se creó un programa de Maestría en Óptica, único en el país, del que se realizaron al menos dos ediciones [2].

En el año 2002 se diseñó y construyó una exposición didáctica de holografía en el Departamento de Física (Fig. 5), para ser utilizada en la enseñanza de pregrado y postgrado. Estuvo integrada fundamentalmente por hologramas subproducto de las investigaciones. El objetivo general fue lograr en el estudiante un conocimiento integral de la holografía y la metodología para su fabricación.

Esta exposición didáctica se incluyó en el diseño curricular de la disciplina Física en las diferentes carreras de la Cujae y se planificó en los horarios de clases. Esta actividad se realizó durante siete cursos académicos, reportándose mediante encuestas y entrevistas a estudiantes y profesores un incremento considerable de la motivación y comprensión de temas de la física como la óptica y el láser. Se utilizó en la Maestría en Óptica y en exposiciones itinerantes en la comunidad [17].

Figura 5. Sección de la exposición didáctica de holografía en el departamento de Física de la CUJAE.

A partir del año 2005, un colectivo de profesores del Departamento de Física de la Cujae, con el apoyo de especialistas del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (Ceaden), la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (Aenta) y el Instituto Superior de Tecnología y Ciencia Aplicada (Instec), organizó e impartió un diplomado en Optoelectrónica y Láser. El claustro de la Cujae estuvo integrado por German Muñiz, Alfredo Moreno, Hilario Falcón, Juan Llovera, Adriana Mavilio y Margarita Fernández. Una parte de los cursos impartidos se integraron al programa de Maestría en Óptica.

De este programa egresaron 175 ingenieros entre los años 2005 y 2007. Bajo la dirección de los profesores, tuvieron la responsabilidad del montaje, puesta en marcha, mantenimiento y reparación de los equipos instalados en los centros oftalmológicos creados en Cuba y en el extranjero. Además, se llevó a cabo la evaluación de los sistemas para su uso en condiciones tropicales, se preparó una monografía sobre equipos oftalmológicos y se diseñó e impartió un curso de postgrado a 1200 médicos oftalmólogos. Por su excelente preparación técnica y profesional, muchos de estos especialistas recibieron la certificación de las firmas fabricantes para instalar, mantener y reparar los láseres excímeros de cirugía refractiva [1].

Para el mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje en la asignatura Física dentro de la carrera de Ingeniería Biomédica se impartieron conferencias sobre holografía e imágenes tridimensionales en los primeros dos años de la carrera. Además, se desarrollaron instalaciones experimentales y metodologías para la construcción de hologramas y anaglifos por los estudiantes para aplicaciones ingenieriles [18].

Para la obtención de hologramas se construyó una instalación experimental consistente en una caja cerrada que evita la entrada de la luz desde el exterior, con un sistema de

aislamiento de vibraciones y dos conductos para manipular el sistema experimental en su interior en un ambiente iluminado. El esquema de registro holográfico utilizado fue el reconocido como "de Denisiuk". Se obtuvieron hologramas de objetos de diferente forma y profundidad.

Estos proyectos de aplicación de la óptica en carreras de ingeniería permitieron la realización de varios Trabajos de Diploma y Tesis de Doctorado [19–23].

Se elaboró un proyecto comunitario de extensión universitaria titulado "Exposiciones holográficas en la comunidad como contribución al conocimiento del patrimonio cultural cubano y a la formación de una cultura general integral masiva". Se ha materializado en varias escuelas de la capital y en diferentes comunidades [4]. El proyecto está conformado por los profesores Rolando Serra, Alfredo Moreno, Gilda Vega e Ivette Alfonso.

Entre los años 2013 y 2015 se impartió la asignatura optativa "Láser en Medicina" en la carrera Ingeniería Biomédica y en el año 2016 como un módulo de la Maestría en Bioingeniería del CEBIO. Se emplearon tecnologías fabricadas en la Cujae, basadas en diodos láser y ledes de alto brillo para la experimentación en los laboratorios y proyectos finales. La misma fue impartida por el profesor Carlos A. Corcho.

VII. CONCLUSIONES

Se mostró un resumen de los resultados logrados por las investigaciones en óptica en la Cujae. Se aprecia un importante avance de los proyectos dirigidos al desarrollo de este campo en la década de los ochenta del siglo XX.

En el presente siglo, varias facultades de la Cujae han desarrollado investigaciones en óptica con resultados apreciables y un saldo significativo de publicaciones científicas y tesis de grado a diferentes niveles. Se ha contribuido al interés por la Física en carreras de ingeniería a través de diferentes actividades docentes e investigativas con participación activa de los estudiantes.

A pesar del alto costo económico que implica la adquisición de materiales e instrumentos para este tipo de tecnología y a la no adecuada remuneración de los investigadores de la universidad, se ha mantenido el interés por llevar a cabo proyectos que contribuyen al desarrollo de la óptica.

La Cujae, mediante diferentes programas de pregrado y postgrado, ha contribuido en gran medida a la formación de recursos humanos en el campo de la óptica.

Los autores se disculpan por la omisión involuntaria de alguna persona o grupo que se pueda incluir en este trabajo.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los profesores Alfredo Moreno, Juan J. Llovera, Rubén Herrera, Rolando Serra y Arcadio Sotolongo por su aporte a este trabajo.

REFERENCIAS

[1] A. Baracca, V. L. Fajer y C. Rodríguez, A comprehensive study of the development of Physics in Cuba from 1959, The History of Physics in Cuba, (Springer, Dordrecht, Germany, 2014), 115-234.

[2] V. L. Fajer y M. Sánchez, Rev. Cubana Fis. **32**, 115 (2015).

[3] L. Martí y R. Serra, Equipo para la determinación de velocidades incluyendo su dirección y sentido mediante *speckle* interferometría electrónica, (Cuba, 1988).

[4] R. Serra, A. Moreno, G. Vega, I. Alfonso, D. S. Magalhães y M. Muramatsu, Rev. Bras. Ensino Fís, **36**, (2014).

[5] R. Serra, R. González, A. Moreno, M. Garí y A. Alejo, Procedimiento para el procesamiento de hologramas de reflexión en emulsión AGFA GEVAERT 8E75 HD, (Cuba, 1999).

[6] R. Serra y R. González, Sistema para la producción de hologramas de imagen enfocada, (Cuba, 1999).

[7] R. Serra y R. González, Sistema para la producción de hologramas de arcoiris, (Cuba, 2001).

[8] J. L. Valín, J. R. Pérez y P. F., Rev. Soc. Port. Análise Exp. Tensões **15**, 83 (2008).

[9] D. S. F. Magalhães, Y. Weng, R. Serra, A. B. Moreno, I. B. B. Paraguay, A. F. B. Camargo y L. M. Li, Memorias del III Congreso de Educación en Ingeniería y Arquitectura, (2016).

[10] D. S. F. Magalhães, J. J. Lunazzi y R. Serra, Opt. Laser Technol. **43**, 119 (2011).

[11] D. S. F. Magalhães, R. L. Serra, A. L. Vannucci, A. B. Moreno y L. M. Li, Opt. Laser Technol. **44**, 650 (2012).

[12] D. S. F. Magalhães, L. L. Min y R. L. Serra, Sistema Multiestereoscópico Holográfico para a Visualização de Imagens Médicas, (Brazil, 2013).

[13] J. J. Llovera, A. B. Moreno, M. Muramatsu, D. Soga, R. L. Serra y D. S. F. Magalhães, 8th Iberoamerican Optics Meeting and 11th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Applications, (Proc. SPIE, Porto, 2013).

[14] M. Herrera y A. Moreno, Inf. tecnol. **25**, (2014).

[15] C. A. Corcho, R. Herrera y A. Pérez, Equipos para terapia con luz de la familia BIOFIE, Memorias del VIII Taller Internacional Tecnoláser (La Habana, 2016).

[16] L. Morejón, "El tratamiento de semillas con diodos Emisores de Luz de alto Brillo". Tesis de Diploma, ISPJAE, La Habana, 2012.

[17] R. Serra, G. Vega, A. Ferrat, J. J. Lunazzi y D. S. Magalhães, Rev. Bras. Ensino Fís. **31**, 1401 (2009).

[18] R. Serra, I. Alfonso, A. Moreno, J. J. Llovera, D. Zottola, D. S. Magalhães, J. B. Lemus y M. Muramatsu, (2013).

[19] M. Prieto, "Sistema para aplicación de terapia láser de baja potencia". Tesis de Diploma, ISPJAE, La Habana, 2010.

[20] D. González, "Sistema Virtual para aplicación de Terapia con Luz en medicina Alternativa". Tesis de Diploma, ISPJAE, La Habana, 2012.

[21] M. Vico, "Diseño de un sistema para aplicación de terapia láser como innovación tecnológica del equipo FISSER III". Tesis de Diploma, ISPJAE, La Habana, 2012.

[22] R. Serra, "La utilización del holograma como medio de enseñanza y de educación social en Cuba a través del vínculo Investigación–Docencia–Extensión Universitaria". Tesis de Doctorado, ISPJAE, La Habana, 2004.

[23] J. Lemus, "Sistema de experimentos docentes basado en el uso de un puntero de diodo láser, para la enseñanza aprendizaje de la óptica en carreras de Ingeniería". Tesis de Doctorado, ISPJAE, La Habana, 2013.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) license.