Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica.

REPORTE TECNICO No. 635

COORDINACION DE OPTICA

La Óptica en México

POR

Alejandro Cornejo Rodríguez
Recopilador

Noviembre 2016
Tonantzintla, Puebla

©INAOE 2016
Derechos Reservados
El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.

PRÓLOGO

El material que se presenta en éste informe técnico, se preparó a lo largo del año 2015, con las contribuciones de investigadores de diferentes instituciones donde se realizan actividades de investigación científica y tecnológica, y estudios de posgrado, en el campo de la óptica. Se les pidió su participación tomando en cuenta sus labores por muchos años en sus centros de trabajo, con reconocimientos internos y externos; por ello quiero agradecerles sinceramente sus colaboraciones, por lo que me permito anotar sus nombres: Rocío Jáuregui, Karen Volke, Esteban Luna, Rufino Díaz, y Martha Rosete de la UNAM; Gonzalo Páez del CIO; Héctor Escamilla y Diana Tentori del CICESE; Alberto Cordero Dávila de la FCFM, BUAP; Miguel Cervantes de la UNISON; Manuel Fernández de la UAM-Iztapalapa.

Es importante aclarar que las variaciones de los formatos, describiendo las actividades de los diferentes grupos, no siguió un determinado patrón y de ahí su diversidad.

La decisión de producir éste informe, es debido al retraso en una publicación con una temática más amplia de la Física en México, y que de alguna forma el material descrito pierda vigencia. Por lo tanto, se pensó en la pertinencia de darla a conocer entre los miembros de nuestras comunidades; con la idea que en un futuro cercano pueda enriquecerse, sobretodo tomando en cuenta el crecimiento y aparición de nuevos grupos de trabajo en Óptica en otras instituciones de nuestro país. Para la nueva etapa de un análisis del desarrollo de la Óptica en México, una propuesta es conformar un grupo de editores para definir los rubros a cubrir por cada institución, independientemente del tamaño que tenga en términos de número de investigadores, proyectos de investigación, y en su caso si tienen estudios de posgrado. No es una tarea fácil, pero si es importante llevar a cabo ésta segunda etapa de conocer los avances de la óptica en nuestro país.

1.-INTRODUCCIÓN

Dos áreas clásicas de la Física son la Mecánica y la Óptica, desde hace unos cientos de años las actividades dentro de ellas permitieron empezar a establecer leyes, entender diferentes fenómenos de la naturaleza, y contribuir a desarrollos tecnológicos de aplicación en la vida diaria del ser humano.

En el caso de la Óptica, algunos de los eventos que se pueden mencionar, por contar con registros documentados, son los siguientes: Empleo del vidrio (1900 a.c.); Espejos metálicos, (Exodus, 1200 a.c.); Leyes de reflexión (1000) y refracción (Snell.1621); invención de telescopios y microscopios, a principios del siglo XVII(Lippershey,1610, y Galileo,1612); empleo de anteojos (Roger Bacon, 1250); fenómenos de difracción (Grimaldi,1665); Teoría Ondulatoria y Polarización (Huygens, 1678); Interferencia (Young,1801, y Fresnel, 1816); Polarización por Reflexión (Malus,1809); Ondas Electromagnéticas (Faraday,1839, y Maxwell, 1873).

En lo que respecta a nuestro país, en la época prehispánica se pueden mencionar el empleo de espejos metálicos; un tipo de cámara obscura, de grandes dimensiones, para observaciones astronómicas. Durante la época colonial existen registros de construcción de telescopios, y estudios sobre diferentes fenómenos y experimentos, que se realizaban sobretodo en los países europeos. Inclusive hubo algunas publicaciones producidas aquí mismo en el país.

1.1.-Breve revisión histórica.

No fue sino hasta mediados del siglo XX, que empezaron a desarrollarse algunos estudios más formales en el área de la Óptica, con la idea inicial de construir algunos instrumentos astronómicos. Fue así que en el año de 1967, se conforma el Departamento de Óptica en el Instituto de Astronomía de la UNAM, promovido y apoyado por su director Dr. Guillermo Haro Barraza. Dando inicio a actividades clásicas y modernas tales como la construcción de equipo astronómico: un telescopio, tipo Ritchey-Chretien, con un diámetro de 84 cm; un interferómetro Fabry-Perot; y dos cámaras tipo Ross para observar el eclipse total del Sol de 1970. Además se construyeron interferómetros para medir la calidad de superficies ópticas; láseres de He-Ne, empleados en el trazado del metro de la ciudad de México; experimentos en el incipiente campo de holografía; el depósito capas delgadas dieléctricas sobre componentes ópticas; y el desarrollo de un programa para computadora para el diseño de sistemas ópticos.

Con los trabajos mencionados en el párrafo anterior, se produjeron los primeros artículos publicados tanto en el Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya (México), y la

revista Applied Optics (USA), ambas de circulación internacional y con arbitraje.

En el año de 1972, inicia sus actividades el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica, y Electrónica (INAOE), conformando su coordinación de Óptica, con miembros que laboraban en el departamento de Óptica, del Instituto de Astronomía de la UNAM, a saber: Dr. Daniel Malacara Hernández, primer doctorado en Óptica, los M. en C. Oswaldo Harris Muñoz, y Alejandro Cornejo Rodríguez, todos egresados del Instituto de Óptica, de la Universidad de Rochester, N.Y. El técnico en producción de componentes ópticas José Castro Villicaña, y el Ing. Ignacio Rizo con especialidad en mecánica. Permaneció la Coordinación de Astrofísica, y se creo la Coordinación de Electrónica en las áreas instrumentación y microelectrónica. Es relevante mencionar que en el mes de Septiembre, del mismo año, se iniciaron los estudios de Maestría en Óptica.

1.2.- Estado actual de la Óptica en México.

En las secciones siguientes, se describirán los surgimientos, en diferentes instituciones de nuestro país, que llevan a cabo trabajos en Óptica, considerando sus desarrollos y estado actual. Se adoptó en las presentaciones, un orden cronológico en la escena nacional, en términos generales. Con la idea de tener información actualizada y al mismo tiempo histórica, se solicitó información directa a diferentes colegas que conocen de primera mano las actividades en sus lugares de trabajo, ayer y hoy.

Dos aspectos importantes de mencionar con la fundación del INAOE, como podrá observarse, son que la investigación y estudios de posgrado en Óptica se descentralizan de la Ciudad de México, teniendo un crecimiento notable, con el transcurso de los años, tanto en Universidades estatales como la creación de centros de investigación.

2.- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)

Considerando que fue en la UNAM, donde empezó a desarrollarse el área de Óptica en la segunda mitad del siglo XX, lo cual ya fue descrito en la introducción. En esta sección se describen las actividades que se continuaron en el Instituto de Astronomía; lo que en un principio fue el Centro de Instrumentos y ahora es el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET); en los institutos de Física y el de Ciencias Nucleares; así como en la Facultad de Ciencias. Es conveniente aclarar, que muchos de los trabajos de tesis en las facultades se llevan a cabo con los investigadores de los institutos y centros de la UNAM.

2.1.-Instituto de Astronomía.

En la introducción se comento la creación del Departamento de Óptica del IA, impulsada y apoyada por el Dr. Guillermo Haro Barraza, director del mismo. A partir de 1972, las actividades en Óptica se concentraron, en un principio, en el diseño óptico de instrumentos con un programa para computadora, desarrollado ahí mismo, y la construcción de diversas componentes ópticas para cubrir las necesidades del IA, con las labores principalmente de Francisco Cobos Dueñas en el diseño, y José Franco en el Taller de Óptica.

Con las necesidades de ir actualizando el equipamiento e instalaciones con que contaba el IA, a lo largo de los años siguientes, hasta nuestros días, se fueron creando grupos interdisciplinarios de trabajo, compuestos por investigadores en Astronomía, Óptica, Electrónica y Mecánica.

Las necesidades de instrumentación astronómica se fueron incrementando y en el periodo de 1972 a 1975 se introdujeron una serie de mejoras para realizar espectroscopia digitalizada. El proyecto consistió en unir un tubo Vidicon (Video Camera Tube), mediante un tacón de fibras ópticas, a un sistema comercial OMA (Optical Multichannel Analyzer). Un paso posterior fue la creación de un segundo sistema contador de fotones llamado MEPSICRON (Microchannel Electron Position System). Lo novedoso de este sistema era que se podían detectar fotones individuales y registrar el tiempo de incidencia, una gran ventaja sobre los sistemas integradores CCD (Charge-Coupled Device). Este trabajo mereció el premio Universidad Nacional en Innovación Tecnológica y Diseño Industrial de 1986, y se obtuvo una patente nacional, propiedad de la UNAM.

Con la inauguración del telescopio de 2.1m el 17 de septiembre de 1979, instalado en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California; uno de los primeros instrumentos periféricos fue un guiador excéntrico, En el periodo de 1988 a 1990 se inicia un proyecto para desarrollar un sistema para observaciones en el infrarrojo cercano. La óptica consistía de un sistema de cámara directa/espectroscopica con dos reductores focales, llamado CAMILA/CAMALEON.

A la llegada del primer CCD al OAN, fue necesario rediseñar la cámara espectrógrafo Echelle para acoplarla a este nuevo detector.. La cámara fue fabricada en Inglaterra.

Para mejorar la alineación de los espejos secundarios de los telescopios, se rediseñaron algunas monturas y acoplamientos para la sujeción de ellos; de igual forma el sistema pasivo del espejo principal del telescopio de 210 cm de diámetro se convirtió en un sistema activo basado

en 18 actuadores neumáticos que sustentan el 98% del peso de dicho espejo primario. Recientemente, en 2014, se actualizó la celda activa añadiéndole una componente “pull” común mediante la incorporación de vacío controlado entre la celda y el espejo primario.

Entre el 2000 y 2006 se diseña y fabrica la óptica del instrumento OSIRIS, un espectrógrafo para el intervalo visible, utilizado para la primera luz del Gran Telescopio Canarias.

Algunos investigadores y técnicos que participaron en todas estas actividades de instrumentación óptica-astronómica son: Claudio Firmani, Elfego Ruiz, Luis Carrasco, Rafael Costero, Irene Cruz, Luis Salas, Francisco Cobos (RIP), Esteban Luna, Alejandro Farah, Franco Pérez, Jorge Valdéz, Arturo Iriarte, Rosalía Langarica, Beatriz Sánchez, y Leonel Gutiérrez.

2.2.-Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET).

En 1978 se creó en el Centro de Instrumentos (antecedente del CCADET), el primer Grupo de Óptica que estuvo bajo el liderazgo del Dr. Daniel Malacara. Parte de este grupo apoyaría, posteriormente, la creación del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) de León, Gto. En 1983, el entonces M. en C. Roberto Ortega Martínez establece el Laboratorio de Óptica Aplicada (LOA). Los trabajos de éste laboratorio se enfocaron a instrumentación óptica y diversas aplicaciones de los láseres en medicina para hospitales públicos. En el período de Octubre de 1988 a 1996 se incorporaron los doctores Rufino Díaz Uribe, Mayo Villagrán Muñiz, Dimitri Kouznetsov, Martha Rosete Aguilar, Neil Bruce Davidson, y Augusto García Valenzuela

En el año 2007 se creó el Departamento de Óptica y Microondas (DOM); actualmente, cuenta con 9 investigadores y 4 técnicos académicos. Se distribuyen en tres grupos de investigación:

I. Grupo de Fotónica de Microondas: Procesos dinámicos en películas delgadas y nanoestructuras magnéticas, nueva instrumentación para nanolitografía, microscopía de fuerza atómica, microluminiscencia de nanoestructuras de Eu2+ en Halogenuros Alcalinos y respuesta fotoacústica de materiales ópticamente activos.
II. Óptica No Lineal: Óptica No lineal, Óptica de Cristales Líquidos, Caracterización de Láseres de Pulsos Ultracortos y Aplicaciones de Láseres a la Medicina.
III. Sistemas Ópticos. Diseño Óptico, Pruebas Ópticas, Esparcimiento y Polarización de la luz.

En el año de 2007 se crea el grupo de Sensores Ópticos y Eléctricos (SOE) bajo la dirección del Dr. Augusto García, con la colaboración de los Drs. Celia Sánchez Pérez y Eduardo Sandoval Romero. Actualmente está conformado por 5 investigadores y un técnico académico;

sus líneas de investigación y desarrollo son: dispositivos en óptica de volumen, óptica integrada, fibra óptica para el monitoreo in situ de procesos físicos, químicos y biológicos; técnicas experimentales e instrumentos para caracterizar propiedades ópticas de materiales y partículas; teoría electromagnética para el avance y diseño de técnicas de medición.

El Laboratorio de Fotofísica se conforma en el año 2000 bajo la dirección del Dr. Villagrán, que durante los años siguientes se agrega el campo de Películas Delgadas. Éste grupo actualmente está constituido por tres investigadores y dos técnicos académicos; sus líneas de investigación y desarrollo son: producción de plasmas generados con láser para distintas aplicaciones; análisis de plasmas mediante diversas técnicas de caracterización; análisis de composición de materiales mediante espectroscopía óptica; producción y caracterización de películas delgadas por ablación láser; caracterización de materia condensada mediante fotoacústica de láser pulsado.

2.3.- Institutos de Física, Ciencias Nucleares, e Investigaciones en Matemáticas y Sistemas.

A continuación se describen las actividades conjuntas de tres institutos de la UNAM, donde a partir del año 2002, considerando que la luz puede poseer propiedades sutiles de gran belleza y múltiples aplicaciones en todas las áreas científicas y tecnológicas. En años recientes se han creado dispositivos que permiten generar campos electromagnéticos con propiedades clásicas y cuánticas que alteran significativamente la evolución de los objetos con los que interactúan. Resalta entre otros la modificación del movimiento de partículas ligeras desde la escala micrométrica hasta los átomos individuales. Esto ha llevado, por ejemplo, al diseño de técnicas ópticas de enfriamiento de sistemas atómicos a la escala de nano Kelvin. Así mismo las correlaciones cuánticas de la luz conllevan a efectos no locales, muy prometedores en el desarrollo de tecnologías cuánticas.

Existen varios grupos de investigación del Instituto de Física (IF), Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS), y el Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la U.N.A.M. interesados en la generación de luz con propiedades específicas y su interacción con la materia. Los estudios realizados, en forma conjunta, contemplan análisis teóricos de primeros principios y estudios experimentales u observacionales con técnicas de vanguardia. Los temas de interés abarcan entre otros: a) El uso de pinzas ópticas para controlar y caracterizar el movimiento de micropartículas y nanopartículas (K. Volke desde 2004 en el IF, A. Vásquez Arzola desde 2008 en el IF y P. Quinto desde 2010 en el ICN) o microburbujas (P.

Quinto desde 2010 en el ICN), y sus aplicaciones en el estudio de procesos físicos y biológicos; b) Las propiedades mecánicas y topológicas de haces de luz estructurados (P. Quinto desde 2010 y R. Jáuregui desde 2008 en IF), y su propagación en medios turbulentos (A. U'Ren desde 2014 en ICN); con contribuciones de E. Ley Koo; c) Los efectos de luz estructurada en el espectro de sistemas atómicos (J. I. Jiménez desde 2009 en ICN, F. Ramírez desde 2009 en ICN, R. Jáuregui desde 2002 en IF); d) Comportamiento de la luz ante campos gravitacionales intensos (S. Hacyan, IF 2008); e) Los efectos de luz estructurada en el movimiento de átomos fríos (J. Seman (IF-2014), D. Sahagún (IF-2014), R. Pérez Pascual (IF-2010), R. Jáuregui(2006); f) La generación de luz con correlaciones cuánticas a partir de transiciones atómicas controladas (D. Sahagún, 2014); g) La caracterización de la correlaciones cuánticas y clásicas de la luz generada por procesos ópticos no lineales en cristales (A. U'Ren (2007), R. Jáuregui (2010)) y fibras ópticas (A. U'Ren, 2009), h) Las propiedades ópticas no lineales de materiales orgánicos y materiales híbridos (A. Reyes Esqueda, (IF-2004)), i) Las propiedades ópticas de medios inhomogeneos (R. Barrera (IF-1975), A. Reyes Cervantes (IF-1995)); j) Las propiedades ópticas de superficies y nanoestructuras (C. Noguez, IF-1995); k) Las propiedades clásicas y cuánticas de la luz en cavidades electromagnéticas (C. Villarreal (IF-1990), R. Esquivel (IF-1995) y P. Barberis (IIMAS-2008)).

Estos estudios se realizan en colaboración con estudiantes e investigadores de diversas instituciones, nacionales y extranjeras. Los años de inicio de investigación se refieren a fechas en que estos trabajos empezaron a realizarse dentro de la UNAM por los investigadores mencionados quienes por lo general ya contaban con experiencia obtenida en otras instituciones en los temas mencionados o en temas afines.

3.- INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA, Y ELECTRÓNICA (INAOE)

El INAOE fue fundado por decreto presidencial el 11 de Noviembre de 1971, e inició sus labores el 1º de Enero de 1972, en los terrenos del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla (OANTON), en el estado de Puebla y a unos 15 km de la ciudad de Puebla. Enlazando de ésta forma los trabajos tradicionales en Astronomía, con los de la Óptica y la Electrónica. Hace diez años se incorporo el área de Ciencias Computacionales.

Cabe mencionar dos hechos importantes, una vez más, como eventos relevantes con el comienzo de las actividades del INAOE: la descentralización de trabajos científicos y tecnológicos de la ciudad

de México, e iniciar estudios de Maestría especializados en Óptica, en septiembre del mismo año 1972.

Los temas de investigación y tecnología durante la década de1972-82 continuaron en las áreas de instrumentación, con dos proyectos básicos de diseño, construcción, y metrología: a) La óptica de un telescopio astronómico, con su espejo principal con un diámetro de 212 cm; éste instrumento está instalado en el Observatorio Guillermo Haro, con que cuenta el INAOE, y funcionando en Cananea, Sonora. b) Ópticas de microscopio para la compañía mexicana Microscopios S.A. Pero también se continuaron trabajos en holografía, diseño y depósito de películas delgadas, y abriéndose labores en disciplinas como procesado de imágenes, con énfasis en los fenómenos de Talbot y Lau, interferometría Fabry-Perot para análisis de modos de vibración, metrología de superficies y sistemas ópticos, de donde surgió el libro "Optical Shop Testing" (1978), teniendo como editor al Dr. Daniel Malacara, y con tres ediciones hasta el presente.

Una piedra angular en todas las tareas llevadas a cabo, desde la fundación del INAOE hasta los días actuales, es sin duda, el Taller de Óptica. Con proyectos institucionales internos, y externos nacionales e internacionales.

Durante la época de 1982-96, en los primeros años la situación en términos de investigaciones y reclutamiento y graduación de estudiantes estuvo estancada, al igual que lo que ocurría en otras instituciones nacionales. Pero con la inauguración del Observatorio Guiillermo Haro, y una mejoría en la situación económica de nuestro país, a finales de la década de 1980, además de los temas de investigación, mencionados antes, se agregaron los siguientes: óptica no lineal, estudios sobre los solitones ópticos, materiales fotorefractivos y sus aplicaciones, diferentes estudios sobre el procesado de imágenes, óptica cuántica, teoría y aplicaciones del color, fibras ópticas y sensores. Éste surgimiento de campos nuevos de trabajo se debió al arribo de 10 investigadores jóvenes mexicanos, y otros 4 provenientes de Rusia

De 1996 a la fecha el crecimiento en el número de investigadores ha sido paulatino, pero recientemente se ha detenido por diferentes razones; a pesar de ello otros tópicos de investigación nuevos han surgido, tales como procesado de imágenes médicas, pinzas ópticas, análisis de frentes de onda con características particulares como adifraccionales, Bessel, gausianos; óptica visual; materiales orgánicos, haces estructurados. El taller de óptica ha ampliado sus capacidades, lo que le ha permitido participar en proyectos internacionales. Las colaboraciones de algunos miembros de la Coordinación de Óptica fueron y han sido valiosas en el diseño y construcción del Gran Telescopio

Milímétrico (GTM); donde, adicionalmente, se creó lo que se conoce como el Laboratorio de Superficies Asféricas, que cuenta con una máquina de medición tridimensional para volúmenes de 4x3 x4 m, con presiones de 50 micras, y una máquina de tallado y pulido óptico con capacidad para elementos de hasta 8m de diámetro.

Considerando la diversidad de proyectos de investigaciones científicas y tecnológicas, ya sea interdisciplinarios internos, o con colaboraciones con otros grupos nacionales e internacionales; el instituto cuenta con 19 laboratorios con equipamiento clásico y moderno, talleres mecánicos y una máquina de control numérico.

Actualmente se cuenta con una planta de 37 investigadores, siete técnicos en el taller de óptica, más otros 8 colaborando en los proyectos propios de la coordinación, científicos y tecnológicos.

Por lo que respecta a los estudios de posgrado, si bien durante los primeros 10 años se obtuvieron buenos resultados a nivel de maestría, en los diez años siguientes se volvió irregular la inscripción y graduación, a pesar de haberse graduado el primer doctor. Sin embargo, a partir de los inicios de la década de 1990, la inscripción y graduación toma un ritmo regularizado; de tal manera que hasta el presente se han graduado 222 doctores, 215 maestros en ciencias, y se tiene una matrícula de 37 estudiantes de doctorado, y 31 de maestría.

4.- CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y ESTUDIOS SUPERIORES DE ENSENADA, B.C. (CICESE).

El CICESE es un centro CONACYT, en el que la óptica es una de las áreas de investigación que se cultivan. El Departamento de Óptica cuenta actualmente con 21 investigadores, representando una de las fortalezas de la institución, que cuenta con un total de 191 investigadores.

El origen de las actividades de investigación en óptica se remonta a 1975, cuando ingresó como investigador al entonces Departamento de Física Aplicada del CICESE el Dr. Romeo Mercado, egresado de la Universidad de Arizona, (diseño óptico). En septiembre de ese año fueron contratados como investigadores Diana Tentori y Martín Celaya, recién graduados del programa de posgrado en óptica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), en Tonantzintla, Puebla. De 1976 a 1979 se incorporaron al grupo de óptica del CICESE: Roberto Machorro, Marco Antonio Machado, Luis Enrique Celaya, Enrique Landgrave y Jesús Siqueiros. En sus inicios, el grupo de óptica trabajó en instrumentación, diseño óptico, interferometría holográfica, recubrimientos ópticos, metrología, materiales ópticos y procesamiento óptico de imágenes. El programa de posgrado en

Óptica del CICESE comenzó en 1976 con la creación del programa de maestría, produciendo su primer graduado en 1978.

En 1980, se llevó a cabo en Ensenada el congreso internacional de óptica “Optics in Four Dimensions”, organizado por la Comisión Internacional de Óptica que contó con la asistencia de los investigadores de la disciplina más conocidos del mundo. El CICESE fue la institución huésped. Esta conferencia dio a conocer al grupo de óptica del CICESE a nivel internacional.

A partir de 1983 se inicia una segunda etapa de desarrollo del grupo de óptica, en donde las actividades académicas se orientaron hacia el desarrollo tecnológico. En esa época los departamentos de investigación del CICESE pasaron a ser divisiones y el grupo de óptica se convirtió en el Departamento de Óptica de la División de Física Aplicada. Esta fue una época marcada por los cambios, ingresaron al CICESE Héctor Escamilla (esparcimiento de luz láser), Heriberto Márquez, Alfonso García Weidner, Enrique Rivera Garibaldi y Manuel Yamada, quienes se incorporaron al grupo de materiales ópticos. Se construyeron hornos y talleres para la fabricación de vidrio óptico y para la fabricación de prismas polarizadores de calcita. El programa de doctorado en Óptica se creó en 1985 y tuvo el primer graduado en 1987. En ese año se incorporaron al CICESE Eugenio Méndez, Georgina Navarrete, Amalia Martínez y David Salazar.

A partir de 1992,con el fin de ampliar y actualizar las líneas de investigación del Departamento de Óptica se contrataron a ocho nuevos investigadores: David Hotz, Roger Cudney, Nooshin Jamasbi, Anatoly Khomenko, Serguei Miridonov, Mehrdad Mohebi, Mikhail Shlyagin y Diego Yankelevich), que abren nuevas líneas de investigación como óptica no lineal, aplicaciones de láseres de pulsos cortos al procesamiento de materiales y medios biológicos, sensores y dispositivos de fibra óptica, cristales fotorrefractivos, óptica integrada, guías de onda, procesamiento digital de imágenes, amplificadores y láseres de fibra óptica, esparcimiento de luz por superficies y partículas, y microscopía de barrido. Esta transformación marcó una tercera etapa de desarrollo del grupo de óptica, con una orientación académica.

En 1996, con la colaboración de varios investigadores del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE, se creó una opción en Optoelectrónica dentro del programa de maestría en Óptica, una alternativa más interesante para los graduados de ingeniería. El programa de maestría anterior, que ya había sido reestructurado, se ha continuado impartiendo como una opción en Óptica Física.

De1993 a 2003 se contrataron siete nuevos investigadores: Elena Tchaikina, Raúl Rangel, Pedro

Negrete, Víctor Ruiz, Kevin O'Donnell, Santiago Camacho, Serguei Stepanov), quienes vinieron a reforzar las líneas de investigación vigentes, y dejaron el grupo cinco investigadores (Martín Celaya, David Hotz, Diego Yankelevich, Nooshin Jamasbi y Mehrdad Mohebi, Karina Garay, Israel Rocha..

A la fecha se han graduado 186 maestros en ciencias y 49 doctores. Los estudiantes vigentes son: 26 de maestría (14 en Optoelectrónica y 12 en Óptica Física) y 27 de doctorado (7 en Optoelectrónica y 20 en Óptica Física).

Las líneas de investigación vigentes son: óptica no lineal; óptica cuántica; láseres; procesamiento láser de materiales; biofotónica; nano-óptica y plasmónica; microscopia no lineal; fibras y guías de onda; óptica integrada; esparcimiento de luz; procesamiento de imágenes. Contando con 12 laboratorios con buen equipamiento para llevar a cabo los proyectos de investigación.

5.- CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA (CIO).

El Centro de Investigaciones en Óptica comenzó sus actividades en 1980 en León, Guanajuato, con la visión de convertirse en una institución dedicada al estudio y el desarrollo de la Óptica. Si bien en sus comienzos se abordaron las pruebas ópticas y la instrumentación, vienen después, adicionales a la interferometría, otras áreas como la holografía y láseres, mismas que se siguen trabajando.

La investigación que se realiza actualmente en el Centro se agrupa en cinco áreas: Fibras Ópticas y Láseres, Ingeniería Óptica, Nanofotónica, Óptica no lineal, y Pruebas Ópticas no Destructivas. En sus inicios el Centro comenzó con media docena de personas, y en 1994 se tenían cerca de una veintena de investigadores. Hoy trabajan 60 investigadores en estas cinco áreas estratégicas, y otro tanto en personal técnico de alta especialización y alrededor de 20 postdoctorales. La gran mayoría de investigadores realiza trabajo colaboración con otras instituciones en el país y el extranjero.

El CIO inició actividades en una casa rentada en el centro de León. Hoy cuenta con infraestructura de alta especialización, como los laboratorios de láseres y dispositivos de fibra óptica, de propiedades ópticas de materiales, de optofluidos, holografía y micro-óptica, varios de metrología, de nanofotónica, de física de infrarrojo, de óptica integrada, de procesamiento digital e imágenes, de espectroscopía biomédica, de óptica ultrarrápida, de comunicaciones ópticas, entre otros. Entre el equipo mayor de uso común se tiene un microscopio confocal con sistema multifotónico, microscopios (raman, de fuerza atómica, SEM), espectrómetro UV-VIS-NIR, difractómetro de rayos-x,fluorescencia de rayos-x, simulador solar, láser de femtosegundos, estación de microfabricación, por mencionar algunos.Con la capacidad tanto en recursos humanos como en infraestructura, se

publican más de 100 artículos de investigación por año en revistas de arbitraje riguroso de circulación internacional, se tiene una actividad importante en divulgación con programas como “Club de Ciencias”, y se realizan proyectos de investigación aplicada con la industria (30 vigentes en 2014).

En particular, el taller de manufactura óptica de alta precisión, que se estableció entre los primeros del Centro dando continuidad a la tradición generada previamente en INAOE, ha venido fortaleciéndose, mismo que cuenta (además de las capacidades tradicionales de generado, esmerilado, pulido, pruebas y recubrimientos) con máquina CNC de pulido de superficies de forma libre y una evaporadora de vacío de 800 mm. A partir del 2014 se formó una alianza INAOE-CIO para combinar capacidades y sobre todo la enorme experiencia acumulada para realizar proyectos de instrumentación.

Desde la creación de sus programas académicos, el CIO ha graduado 400 estudiantes (165 de ellos en el doctorado). La creación del primer programa, maestría en ciencias (óptica), inicia en 1984 y el doctorado en ciencias en 1987 (ambos en categoría “Competencia Internacional” por CONACYT). En 1998 se inicia la participación del Centro en la maestría y doctorado en el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología, PICYT, en conjunto con los centros CIATEC, CIATEJ, CIATEQ, CIDESI, CIDETEQ y COMIMSA. En 2007 se crea la maestría en optomecatrónica, orientada a temas de investigación aplicada. Actualmente hay matriculados 121 estudiantes (17 vienen del extranjero), 65 son de doctorado y 56 de maestría. En cuanto apoyo al pregrado en promedio 120 estudiantes realizan algún proyecto académico al año.

La calidad de investigación, del posgrado y apoyos académicos, de la divulgación y de los proyectos con la industria, son un reflejo del crecimiento sostenido del Centro (mismo que ha venido incorporando nuevas áreas de óptica que lo mantienen como una institución a la vanguardia), y de las áreas consolidadas y bien reconocidas internacionalmente.

6.- FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS, BUAP.

En 1980 se empiezan a realizar algunos trabajos en Óptica, en un principio, además de colaboraciones en algunos temas de investigación en diseño y construcción de componente ópticas, se establecieron programas para dar mantenimiento a equipo óptico profesional y de docencia para toda la universidad. Los pioneros en estas actividades fueron Oswaldo Harris Muñoz y Alberto Cordero Dávila. Para el año de 1984 se contaba con la integración al grupo de óptica de Gustavo Rodríguez Zurita, Erwin Marti, Rufino Díaz Uribe, todos con maestría; Rosario Pastrana y dos

técnicos, Jorge Cuautle y José Vázquez. La planta actual es de 13 investigadores, además de los mencionados están Luis M. Areválo, Maximino L. Arroyo Carrasco, Georgina Beltrán Pérez, Juan Castillo Mixcoatl, Marcela M. Méndez Otero, Cruz Meneses Fabián, Severino Muñoz Aguirre, Sergeyevch Ostrosky Andrey., Carlos I. Robledo Sánchez. De acuerdo a las nuevas normas de la SEP, todos los investigadores tienen el doctorado, incluyendo a los pioneros.

Las líneas de trabajo sobre las cuales se llevan a cabo las labores de investigación, de acuerdo a la estructura de los cuerpos académicos son: Instrumentación Óptica, Interferometría, Óptica Estadística,

Formación de Imágenes, Interacciones Ópticas en Medios Lineales y no Lineales, Óptica Cuántica, y Óptica No Lineal, Sistemas Optoelectrónicos, Láseres y Fibras Ópticas.

Los cuerpos académicos participan en el posgrado en física aplicada, en los niveles de maestría y doctorado. A la fecha se han graduado 124 Maestros en Ciencias y 57 Doctores

7.- UNIVERSIDAD DE SONORA (UNISON).

Miguel Cervantes, después de obtener su grado doctoral en la Universidad de Arizona se estableció en la Universidad de Sonora en 1982.

Entre 1984-86 se creó el programa Nacional del Posgrado en Óptica y Electrónica (PRONAPOE), con las participaciones de INAOE, CICESE, CIO, y la UNISON. El grupo de investigación de la UNISON, fue el primero que contó, con un laboratorio equipado con instrumental apropiado para realizar investigación de frontera. Entre los principales logros en esos días fue la adquisición del primer láser de Neodimio: YAG que se operó en el país; además se estableció el Laboratorio de Películas Delgadas con equipamiento moderno por el Dr. Efraín E. Regalado. Por otra parte, la fundación del CIFUS en 1977, impulso la investigación científica no solo en Óptica, sino en otras áreas de la Física.. Con respecto a los estudios de posgrado, están el establecimiento del posgrado en Física con nivel de maestría en 1984, y la aprobación del nivel doctora en 1995; la incorporación del posgrado en el padrón de excelencia del CONACYT se dio en 1996

Actualmente la Universidad de Sonora cuenta con dos departamentos de investigación en Física agrupando un total de 71 investigadores con grado de doctor. Los principales campos de investigación son: Física teórica, Estado Sólido, y Óptica-Nanociencia. Hay actualmente 22 investigadores de la universidad que se dedican a la Óptica, distribuidos de la siguiente manera nueve en el Departamento de Física, y doce en el Departamento de Investigación en Física(DIFUS).

Las diferentes líneas de investigación en las que han participado los investigadores mencionados están: Interferometría, Materiales Láser, Holografía de Femtosegundos. Efectos simultáneos de difracción e interferencia, Manipulación óptica de micropartículas, Meta materiales, Propiedades de Óptica No Lineal: Aplicaciones de nanopartículas en biología. Espectroscopia óptica, Generación de Segundo Armónico, Rugosidad en cristales fotónicos, Estructuras metálicas para dispositivos plasmónicos, Propiedades Ópticas de Cristales Líquidos, Dispositivos con Cristales Líquidos: Sensores y Espejos, Métodos ópticos Aplicados en Biología, Materiales Holográficos, Comunicaciones Ópticas, Cristales fotónicos.

8.-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-IZTAPALAPA. (UAMI)

El laboratorio de óptica cuántica nació, ha florecido y sobrevivido en el departamento de Física de la división de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Emitió y vio la primera luz en los primeros meses del 1984. Nuestro quehacer nos ha llevado por caminos insospechados que van desde los laboratorios de óptica y espectroscopia en diversas partes del orbe, a ministerios de defensa, a la industria del entretenimiento, a los constructores de instrumentos musicales, problema de contaminación atmosférica y de oftalmología.

El proyecto inicial que nos trazamos tenía dos vertientes: Por un lado, el diseño y construcción de láseres con el propósito de realizar experimentos en óptica no lineal. Los primeros láseres que diseñamos y construimos fueron láseres sintonizables de pigmento, seguidos de láseres UV de nitrógeno molecular y posteriormente láseres de Nd:YAG y Nd:vidrio. Por otro lado dirigimos nuestros esfuerzos a la fabricación de hologramas. Las técnicas holográficas que desarrollamos nos permitieron fabricar una gran variedad de hologramas tanto en transmisión como reflexión, hologramas de arcoiris, interferogramas, hologramas en planos de Bragg de luz blanca, hologramas con luz continua y hologramas pulsados de objetos en movimiento.

En una segunda etapa, estudiamos fenómenos ópticos no lineales, tales como generación de segundo armónico, conjugación de fase y dispersión cónica anómala en vapores atómicos. Compresión temporal de pulsos por retroalimentación distribuida. Absorción y difracción autoinducida en calcogenuros, así como espectroscopia Raman. Ésta última vertiente devino en un laboratorio independiente recientemente.

En la actualidad el énfasis de nuestra investigación se centra, por un lado, en óptica ultrabreve de femtosegundos y la dinámica de la coherencia. Estudiamos la redistribución de energía en

interferometría, así como la correlación de pulsos ultrabreves. Nos interesan los invariantes tanto ópticos, durante la propagación de las ondas en medios inhomogéneos, como mecánicos en la evolución de trayectorias en problemas con parámetros dependientes del tiempo. Por otro lado, en colaboración con Ingeniería Biomédica, abordamos el estudio energético celular de sistemas biológicos, mediante la detección de la emisión fluorescente de substancias ligadas al proceso metabólico.

9.- OTRAS INSTITUCIONES.

Si bien los trabajos en Óptica que se desarrollan en los centros descritos en las secciones anteriores se pueden considerar como los de mayor tradición y fortaleza, existen otros cuyo número sigue creciendo, donde el número de investigadores puede ser de uno hasta seis investigadores; ellos se localizan en las siguientes instituciones, en donde el número en paréntesis indica el número de investigadores: Facultad de Ciencias (4), y Centro de Nano Ciencias y Nano Tecnología, en Ensenada(3), de la UNAM; Escuela Superior de Físico Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional (4); Universidad de Guanajuato, campus Salamanca(6); Universidad Autónoma de Morelos(7), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo(4); Universidad de Guadalajara, campus central (CUCEI),(6) y campus Lagos de Moreno(6); Universidad Juárez de Tabasco (3); Universidad Autónoma del Estado de México (2); Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey(5); Universidad Autónoma de Nuevo León(2), Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, Campus en Huajuapan de León(6), y Campus Istmo(2); Universidad Politécnica de Tulancingo(4); Universidad Autónoma de Hidalgo(4); Universidad Tecnológica de Tulancingo(1); Universidad Autónoma de Veracruz(3); Universidad Autónoma de Sinaloa(3), Universidad Autónoma de Yucatán(3), Universidad Autónoma de Zacatecas(4); Universidad Autónoma de Baja California (3); Universidad Autónoma de Chiapas(1)

Las temáticas de trabajo de estos centros comprenden algunos de los diferentes temas ya mencionados con anterioridad, con características clásicas y modernas. El número aproximado de investigadores en estos grupos de trabajo en Óptica es de 85, con una cobertura en 15 estados de la República, además de la ciudad de México.

10. CONCLUSIONES.

Se puede afirmar que la Óptica, como campo de estudio, dentro de la Física, en nuestro país, es de las más jóvenes; tomando como punto de partida el año de 1965, cuando regresa a nuestro país el primer mexicano con un doctorado, que es el Dr. Daniel Malacara Hernández, es decir hace 50 años.

A partir de ese año, 1965, se empiezan a gestar algunas incipientes investigaciones en el IA-UNAM, y a producir temas de tesis de licenciatura en la Facultad de Ciencias de la misma UNAM.

Con esos primeros pasos, tanto en investigaciones científicas y tecnológicas, como en la preparación de estudiantes, primero a nivel de licenciatura, y unos años después, en 1972, en el nivel de posgrado, con maestrías inicialmente, y unos años después con doctorados.

Las labores que diferentes grupos de trabajo han desarrollado en Óptica, se puede concluir, que han alcanzado, hasta el presente, un desarrollo satisfactorio, en diferentes aspectos, los cuales se describen a continuación.

10.1. Investigaciones Científicas y Tecnológicas.

Del inicio con trabajos en el diseño, construcción, y metrología de superficies y sistemas ópticos; pronto empezaron a cubrirse otras áreas dentro de lo que se cataloga como Óptica Física, como son la holografía, capas delgadas dieléctricas, y procesado de imágenes. A mediados de la década de 1980, los temas de trabajo crecen a gran ritmo, apareciendo nuevos temas de investigación como: Óptica Cuántica, Óptica no lineal, Dispersión de Partículas, Fibras Ópticas, como unos ejemplos. En el presente, uno puede hallar otros temas contemporáneos de estudio como lo son el estudio de haces estructurados, adifraccionales, gaussianos, Bessel materiales poliméricos, sensores y láseres con fibras ópticas. De tal forma que en la actualidad, existen múltiples temas que son analizados y desarrollados en diferentes instituciones del país con resultados importantes, todos reconocidos a nivel internacional y nacional. Una prueba de éstas actividades son la presentación de trabajos y publicaciones, en el Congreso Nacional de Física y la revista Mexicana de Física, respectivamente; pero lo mismo sucede con trabajos en congresos y revistas internacionales en diferentes partes del mundo.

En algunos aspectos de aplicaciones tecnológicas, están las labores de equipamiento para diversos proyectos de la Astronomía, nacional y de otros países; la constitución de una compañía exitosa para estudiar y producir lentes oftálmicas; y otra que llegó a producir prismas polarizadores, éstas dos últimas en el ámbito del CICESE; la construcción de más de 150 telescopios astronómicos para aficionados en la Facultad de Físico-Matemáticas, BUAP, que se

envían a escuelas del país, y la asesoría a diferentes compañías nacionales.

10.2. Instituciones.

De lo descrito en las secciones anteriores, existen fuertes y consolidados grupos de investigación, algunos llevando a cabo aplicaciones tecnológicas, según sus intereses y capacidades. Pero también, existen grupos pequeños que realizan trabajos en óptica, de surgimiento reciente. Dentro del primer grupo podríamos catalogar unas 10 instituciones, con un total aproximado de 188 investigadores, mientras que para el segundo grupo existen otros 15 grupos albergados en universidades de 15 estados, contando con 85 investigadores. Por lo tanto, en la actualidad el país cuenta con 273 investigadores especializados en el campo de la Óptica.

10.3. Estudios de Posgrado.

Hasta la fecha, no existe a nivel licenciatura un programa especializado en Óptica, que si se puede encontrar en otros países, creados desde hace muchos años, por lo menos desde mediados del siglo XX. Los estudiantes que ingresan a un posgrado en Óptica, generalmente provienen con estudios en Física, Ingenierías en Electrónica, Mecánica, y Ciencias Computacionales, principalmente.

Ahora bien, el crecimiento de estudios de posgrado, ha sido importante e interesante de recalcar. A la fecha, existen al menos 10 programas de posgrado, todos ellos reconocidos dentro del padrón del CONACYT. Esto ha dado como resultado que en estos 50 años se hayan graduado 788 Maestros en Ciencias, y 496 Doctores. Que, sin duda, son cifras significativas.

10.4. Organizaciones Nacionales e Internacionales.

En 1980 se fundó la Academia Mexicana de Óptica, con la idea de aglutinar a los investigadores con especialidad en Óptica, y en 1998 se fundó la División de Óptica de la SMF.

Cabe aclarar que en los congresos nacionales de Física, organizados por la SMF, siempre ha habido sesiones dedicadas a Óptica. Con la creación de la AMO, se programó la Reunión Anual de Óptica, que se celebró junto con Congreso de Física por 15 años; a partir de 2010, se regresó al esquema de incluir solo sesiones de Óptica. Pero de igual forma se han llevado a cabo reuniones de la Óptica en la Industria.

A nivel internacional, nuestro país ingresó a la Comisión Internacional de Óptica (ICO) en el año de 1970, y tres investigadores han sido nombrados vicepresidentes: Daniel Malacara Hernández, Jorge Ojeda Castañeda, Fernando Mendoza Santoyo. En el año 2011 se celebró en Puebla el Congreso Trianual que organiza la ICO.

Como sucede con todas las áreas de la Física, y las ciencias en general, que se llevan a cabo en México, los investigadores con actividades en Óptica, tienen colaboraciones con instituciones de muchos países, así como a nivel nacional. Con respecto a relaciones con otras Sociedades de otros países, existen fuertes relaciones con la Optical Society of America (OSA), que cumplirá 100 años de su fundación en el 2016; y la Society of Photography and Image Engineering (SPIE). De tal forma que dentro de los programas de ambas sociedades, se han creado capítulos de estudiantes dentro de su país y fuera de él; en México existen más de diez capítulos de la OSA y SPIE, respectivamente.

Para concluir, se puede afirmar, que en estos 50 años de la Óptica en México, las labores que se han realizado han sido exitosas; como campos de estudios científicos y tecnológicos, y en la preparación de personas a nivel de Maestría y doctorado. Dando como resultado, que tanto a nivel nacional e internacional, las labores de investigación teórica, aplicada, y tecnológica en Óptica, en México, tenga una presencia importante ahora en nuestros días.

Sin embargo, la inquietud de poder incorporar a más personal en las instituciones de investigación del país, cada día enfrentan más problemas, produciendo que muchos doctores, recién graduados, tengan pocas oportunidades de trabajo.

11.- AGRADECIMIENTOS.

A los siguientes compañeros, de diferentes instituciones, les quiero agradecer su cooperación por haber enviado información sobre diferentes aspectos de sus lugares de trabajo: Rocío Jaurégui, Karen Volke, Esteban Luna, Rufino Díaz, y Martha Rosete de la UNAM; Gonzalo Páez del CIO; Héctor Escamilla y Diana Tentori del CICESE; Alberto Cordero Dávila de la FCFM, BUAP; Miguel Cervantes de la UNISON; Manuel Fernández de la UAM-Iztapalapa.

Asimismo agradezco a la Lic. Ana María Zárate Rivera su apoyo para la elaboración de éste reporte.