

El desarrollo de la óptica en el ICAT

Dr. Rufino Díaz Uribe

Antecedentes

Desde la fundación del Centro de Instrumentos (CI), la Óptica, en su concepción más amplia, ha contribuido al crecimiento y fortalecimiento del ahora Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT). En sus inicios, existía la Sección de Óptica en el Departamento de Mantenimiento, principalmente de microscopios ópticos y balanzas analíticas; en algún momento se inició la impartición de cursos de mantenimiento de estos instrumentos, en los que se incluían los fundamentos ópticos de un microscopio. Más adelante, también se dió servicio a espectrofotómetros de diversas dependencias universitarias y otras instituciones externas. En educación, se desarrollaron equipos y manuales para la realización de diversas prácticas de la carrera de Física de la Facultad de Ciencias (FC) y para apoyar los cursos de Física del bachillerato de la UNAM; entre ellas, se desarrolló un conjunto de prácticas de Óptica. Sin embargo, referirse al desarrollo de la investigación y el desarrollo de la Óptica en el CI de la UNAM, es hablar de Roberto Ortega Martínez[†], incansable impulsor de esta disciplina.

No estoy seguro de que haya sido el primer óptico en incorporarse al CI, de lo que sí estoy convencido es que Roberto fue el que más esfuerzos hizo por conjuntar un grupo de investigación en Óptica de alto nivel y de darle viabilidad a largo plazo; cabe señalar que,

desde antes de esta etapa, Roberto Ortega colaboró en las primeras acciones de servicios y en docencia, sobre todo en el campo de la Óptica, pero su participación no se restringió a esta disciplina. Desde luego, para llegar a esa posición, Roberto pasó una etapa de formación que marcaría sus intereses profesionales. Estudió la carrera de Física en la Facultad de Ciencias; después de una estancia en la Universidad de Arizona (UA), con el distinguido astrónomo Harold L. Johnson, se graduó en 1971. Desde entonces se interesó por la espectroscopía aplicada a la Astronomía, su tesis de licenciatura se tituló “Amplificadores Operacionales en Fotometría Fotoeléctrica”. Posteriormente continuó estudios de posgrado en Óptica en el *Optical Sciences Center* de la misma UA, hasta 1973, pero no se graduó allí; durante esos estudios tuvo profesores de nivel mundial, como Marlan O. Scully, Aden Mainel y Roland Shack, y compañeros como Luis Raúl Berriel, César Sepúlveda y Luis Domínguez. Fueron intensos años de aprendizaje de temas contemporáneos de Óptica y Astronomía, que le dieron una mejor visión de lo que debería ser un centro de investigación de primer nivel.

De regreso en México, Roberto ingresó el 1º de febrero de 1973 al CI como Técnico Académico, permaneciendo hasta el 30 de junio de 1975. No tengo referencia de que durante esa estancia hayan resultado publicaciones, dirección de tesis o algún otro producto relevante; desde luego, la vocación del CI era más la de un centro de

servicios donde sus objetivos eran el desarrollo y mantenimiento de instrumentos científicos de la UNAM y del país. Durante esos años, hizo sus estudios de maestría en Física en la FC, graduándose por examen general de conocimientos en 1976, siendo sus asesores los Drs. Enrique Daltabuit del Instituto de Astronomía (IA) y Jorge Flores del Instituto de Física (FI), distinguidos físicos de la UNAM. De 1975 a 1982 estuvo contratado en el IA como Investigador Asociado. Durante esos años publicó sus dos primeros artículos de investigación en temas de instrumentación astronómica (en *Rev. Mex. Astron. Astrof.*, en 1976 y en *J. Opt. Soc. Am.*, en 1979). Más tarde se relacionó con el Dr. Eugenio E. Mendoza, trabajando en su tesis doctoral sobre el “Diseño, Construcción y Usos de un Espectrofotómetro para la Investigación en la Astronomía”, y se graduó de Doctor en Ciencias (Física), en la FC en 1986. Se había reincorporado permanentemente al CI el 3 de diciembre de 1982, inicialmente como técnico académico y a partir de 1995, su nombramiento fue de investigador.

Como anécdota personal de mi relación con Roberto y el CI, puedo relatar que en 1979 yo estaba terminando la carrera de Física en la FC de la UNAM y después de haber sido ayudante y luego profesor de laboratorio y de teoría del curso de Óptica, con el Prof. José Luis Jiménez Ramírez, me interesó esta área. Cursé Óptica Física I con Roberto, aún investigador en el IA, quien al final del curso me invitó a seguir estudiando Óptica y me sugirió hacer la tesis con el Dr. Daniel Malacara Hernández, quien acababa de regresar al IA, después de haber pasado alrededor de ocho años en el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), en Tonanzintla, Puebla. Roberto me presentó con el Dr. Malacara como posible tesista de licenciatura, quien me envió con el M. en C. Arquímedes Morales, su cercano colaborador, con quien finalmente realicé mi tesis sobre el Interferómetro de Difracción por un Punto. El trabajo experimental de mi tesis lo desarrollé en el Laboratorio de Óptica del CI. Durante ese tiempo tuve la oportunidad de conocer a algunos de los

académicos que de alguna forma iniciaron la Óptica en el CI, en su sentido más académico.

Con Daniel Malacara se incorporó a la UNAM un grupo de ópticos, algunos muy jóvenes, recién egresados de la maestría de Óptica del INAOE; recuerdo entre ellos a Gustavo Rodríguez Zurita, Jesús Moya Cessa y Leopoldo Ortiz Arcos. Otros colaboradores más experimentados eran el mismo Arquímedes Morales Romero, y los señores José Castro y Carlos Pérez Santos; allí conocí también a los Maestros Manuel Moreno Mercado, graduado en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Baja California, y Ricardo Flores, graduado en la Unión Soviética. En ese entonces, Daniel Malacara estaba organizando la creación del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), en León, Guanajuato, con apoyo de la UNAM, el CONACYT y el Gobierno del Estado de Guanajuato. En 1980, con la creación del CIO, una parte importante de este grupo se trasladó a León; en el CI permanecieron Leopoldo Ortiz, Manuel Moreno y Ricardo Flores. Posteriormente todos migraron; el primero a Jalapa, Veracruz, el segundo hizo carrera actuarial en Nueva York, mientras que el tercero también se fue al CIO, en León.

El laboratorio de Óptica que permaneció en el CI estaba muy bien equipado, con al menos una mesa holográfica y bastantes componentes ópticas como lentes, bases, postes, filtros espaciales, láseres de He-Ne y placas holográficas, entre otras cosas. Los temas en los que se investigaba eran los de moda: la holografía, la óptica de Fourier, el filtraje espacial, la interferometría holográfica, entre otros.

El primer artículo indizado del CI publicado en el área de la Óptica (Rodríguez, G., Ortiz, L., Moreno, M., “White light pseudocolour density encoding by clear-raster”, *Optics Communications*, 38(1), 10-16, 1981), trató de un método de la óptica de Fourier para pseudocolorear imágenes de acuerdo con su estructura de frecuencias espaciales.

Para 1982, en un segundo artículo de Óptica, “Placas Zonales para Interferómetros de Trayectoria común”, Gustavo Rodríguez Zurita su autor, ya adscrito al CIO, en las conclusiones explícitamente anota: “Tanto las placas zonales como las fotografías fueron hechas por Manuel Moreno M. y el autor, en el Centro de Instrumentos, UNAM. El diseño mecánico de la carcasa y su realización práctica se deben a Humberto Sotelo G.”. Estrictamente, no era una publicación del CI, pero se gestó allí; la revista *Instrumentación y Desarrollo*, antecesora de *Journal of Applied Research and Technology* (JART), no estaba indizada, la publicaba la Sociedad Mexicana de Instrumentación (SOMI, hoy desaparecida como sociedad científica), con el total apoyo del CI.

Otros dos artículos resultaron de una solución al problema de contar automáticamente trazas nucleares por un método optoelectrónico desarrollado en el CI; casi todos sus autores eran del CI, entre ellos Ricardo Flores como primer autor y Leopoldo Ortiz, como segundo autor; Armando Solar era un híbrido entre óptico y electrónico, los demás autores no eran ópticos.

En esa época, tres egresados de la carrera de Física se fueron a Francia a estudiar el posgrado en Óptica, Gerardo Ávila Soberanes y Armando Solar, apoyados por el CI, mientras que Salvador Cuevas Cardona se fue apoyado por el IA. Los tres regresaron a trabajar a la UNAM, en la dependencia que los apoyó.

El Laboratorio de Óptica Aplicada

En 1986, Roberto Ortega quien era Jefe del Departamento de Diseño y Desarrollo, me invitó a trabajar en el CI, pero no llegamos a un acuerdo sobre las condiciones de trabajo. Aún estaban Gerardo Ávila (ya doctorado en Francia) y Armando Solar; yo trabajaba en la Escuela de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Puebla. A finales de ese año regresé a la FC, como profesor de carrera.

Durante 1987 y 1988, Roberto Ortega realizó una estancia en la Universidad Estatal de Colorado, en el grupo de investigación del Dr. Jorge J. Rocca. Con ellos publicó dos artículos. También dirigió la tesis de licenciatura de Antonio Alfonso Rodríguez Rosales, titulada “Obtención de Rejillas de Difracción Holográficas”, con la que se graduó en 1989 y se publicó un artículo.

Para 1988, Gerardo Ávila se incorporó al *European Southern Observatory*, en Munich, Alemania, mientras que Armando Solar, renunció para trabajar en una compañía que fundó junto con otros electrónicos del CI. A raíz de que Roberto se quedó prácticamente solo, trató de formar un grupo de investigación y desarrollo en Óptica con nuevos académicos, además de que atrajo a varios estudiantes para hacer tesis en el área; Roberto me volvió a invitar a trabajar en el CI, llegando a un acuerdo y me incorporé como Investigador Asociado “C” al Laboratorio de Óptica Aplicada (LOA), nombre que conservó hasta después del año 2000. Significativamente en ese momento, en todo el CI, sólo había otro investigador, el M. en C. Ricardo Ruíz Boullosa, del Laboratorio de Acústica; Roberto era Técnico Académico Titular C y con él colaboraba otra técnica académica, Genoveva Olguín Ramírez, quien dejaría el CI en 1989.

Me incorporé al CI el 1º. de octubre de 1988, un mes antes de la última huelga del STUNAM. Llegué con “mi torta bajo el brazo”, pues el CONACYT me aprobó un apoyo económico para un proyecto de investigación, aun estando en la FC; esto era cosa poco común, pues no se acostumbraba tanto como ahora solicitar este tipo de proyectos, pues los presupuestos internos eran suficientes para la cantidad de académicos y proyectos; aún no había proyectos PAPIIT, ni PAPIME, mucho menos existía el PRIDE. Además, yo ya pertenecía al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), en el nivel 1, por lo que probablemente haya sido uno de los primeros académicos del CI, con esa distinción. También llegó conmigo Martha Rosete Aguilar, entonces tesista de licenciatura; notablemente, Roberto se había

rodeado de un grupo de estudiantes muy entusiastas; algunos fueron sus tesis. Recuerdo en particular a Carlos Treviño y a Jazmín Carranza. Los tres obtuvieron su doctorado años después y ahora son destacados investigadores, la primera en el ICAT, mientras que los dos últimos en el INAOE.

Durante 1989, por mi parte, envié un primer artículo que ya había trabajado en la FC y me dediqué arduamente a escribir mi tesis doctoral sobre Pruebas ópticas por *deflectometría láser*; Martha Rosete terminó su tesis, se graduó y se fue al Imperial College de Londres, para realizar sus estudios de posgrado. Finalmente, ese mismo año, conocía a los oftalmólogos, Raúl Suárez Sánchez y Enrique Graue Wichers, con quienes inicié el proyecto del Keratopógrafo Láser, apoyado económicamente por el primer programa de apoyos a proyectos de investigación internos de la UNAM, denominado Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Docente (PAPIID), pues incluía proyectos de docencia; formalmente el responsable de dicho proyecto fue Ricardo Ruiz, pues como investigador asociado, yo no podía ser el responsable del proyecto. Me doctoré en febrero de 1990 y el artículo mencionado al inicio de este párrafo, se publicó en el mismo año en *Applied Optics*.

Roberto Ortega conoció al Dr. Mayo Villagrán Muñoz, durante su estancia en la Universidad Estatal de Colorado. Mayo terminaba una estancia posdoctoral y Roberto lo invitó a incorporarse al CI, como investigador; llegó a México a finales de 1989 y su contrato, según parece, inició en 1990.

En esa época, Roberto invitó al Fís. Arturo Nogueira, quien trabajaba como Técnico Académico en el Instituto de Física (IF), a cambiarse al CI. Esta era una contratación importante pues aparte de que eran buenos amigos desde que eran estudiantes en la carrera de Física de la FC, Arturo era un excelente electrónico. Roberto sufría mucho con la reparación de las fuentes de poder de dos láseres de Argón que

había conseguido como donación de dependencias que no sabían qué hacer con ellos. Arturo ayudó a encontrar las fallas, repararlas y a mantener los equipos funcionando durante varios años.

El Fís. Mario F. González Cardel, Técnico Académico desde octubre de 1988, originalmente colaboraba con el grupo de Electrónica, luego pasó por el grupo de Química de Materiales y finalmente en 1995 comenzó a colaborar conmigo en el LOA. Su formación y experiencia eran principalmente, en el área de la Electrónica. Mario colaboró en el diseño, la puesta a punto y el mantenimiento de diversos equipos optoelectrónicos, entre ellos, recuerdo la configuración y uso de las tarjetas electrónicas para computadoras PC denominadas LAB40. Se usaron las tarjetas de adquisición de datos de 8 y de 12 bits, así como la tarjeta controladora de motores de pasos. Luego trabajó sobre el control de un escáner de espejos oscilatorios para mover un haz láser; y la configuración y calibración de unos amplificadores DIV301 de United Detectors, para la lectura de fotodetectores de efecto lateral, para sensar la posición de haces láser, elementos que conformaban el keratopógrafo láser.

Alrededor de 1991, a instancias de Claudio Firmani, quien era el Director del CI, se contrató al Dr. Dimitri Kousnetzov, graduado en la Unión Soviética y casado con una astrónoma rusa a quien Claudio quería traer a México. Dimitri trabajaba en Óptica Cuántica, un área que no se cultivaba en el CI. De hecho, Mayo Villagrán y yo opinamos en contra de su contratación, pero Roberto con una visión diferente sí la apoyó. Dimitri dejó el CI en 1998.

En 1994, Martha Rosete regresó de Inglaterra donde había obtenido su doctorado en óptica. Con ella todavía aplicó la regla de que los exbecarios de la DGAPA podían ser contratados una vez que se graduaran, de manera que su plaza se generó automáticamente. Junto con ella llegó su esposo, el Dr. Neil Charles Bruce Davison. Martha había realizado su tesis doctoral en Diseño Óptico, bajo la

dirección de Jonathan Maxwell; específicamente, trabajó sobre el diseño de placas correctoras acromáticas para cámaras del tipo Schmidt. Neil, por su parte se doctoró también en el *Imperial College*, bajo la dirección de Chris Dainty y realizó una estancia posdoctoral de dos años con su exasesor, trabajando siempre en problemas de espaciamiento de luz por superficies rugosas.

Durante 1995, Roberto Ortega se convirtió en Investigador Titular A. Por la misma época, otros dos técnicos académicos de otros grupos de investigación, también cambiaron su estatus a investigadores; ellos fueron José Saniger y Gabriel Corkidi. Estos fueron pasos trascendentes, pues indicaba la nueva vocación del Centro de Instrumentos, como centro de investigación.

En 1996 se contrató directamente como Investigador Titular A al Dr. Augusto García Valenzuela, un joven brillante con un excelente currículum. Él mismo eligió al CI y, en particular, al Laboratorio de Óptica Aplicada como el lugar donde desarrollaría su carrera profesional, aunque tenía varias ofertas más de otros institutos de investigación, dentro y fuera de la UNAM. Desde entonces Augusto ha mantenido una productividad muy por encima del promedio, es de los investigadores más productivos del ICAT y seguramente destaca a nivel UNAM y más allá.

El Dr. Crescencio García Segundo se incorporó en 1997 como Investigador Asociado C, después de haberse graduado de Doctor en Óptica en el INAOE y de haber realizado una estancia posdoctoral en el *Imperial College*; en esta ocasión dejó el CI durante el año 2000, pero regresó posteriormente, aunque no al LOA.

Aún en el siglo pasado, se incorporaron como Técnicos Académicos, los Maestros en Ciencias (Física), Manuel Campos García y Carlos Jesús Román Moreno; el primero trabajaría conmigo y el segundo con Roberto. En 1999 ingresaron como personal por honorarios,

posteriormente ocuparon una plaza de forma interina y de allí continuaron sus trayectorias académicas, en el grupo de Óptica.

Con todo esto, el LOA pasó de contar con dos técnicos académicos en 1988 a siete investigadores y cuatro técnicos académicos para el año 2000. La productividad del LOA siempre fue creciente en cantidad y calidad, tanto en artículos en revistas indizadas de calidad internacional, como en presentaciones de congresos y formación de recursos humanos. Todos los investigadores pertenecían al SNI y en 1996, se me otorgó el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en el Área de Docencia en Ciencias Exactas. Algo similar en el CI, sólo lo había obtenido un año antes el Dr. Gabriel Corkidi, pero en el área de Innovación Tecnológica y Diseño Industrial. De esta manera, el Centro de Instrumentos mostraba sus logros académicos en investigación, docencia y desarrollo tecnológico.

La consolidación

A partir del 2000, hubo muchas actividades académicas, resultados destacados y la incorporación de nuevos académicos. Describir en detalle todos ellos tomaría mucho espacio, por lo que con el riesgo de dejar algo importante de lado, voy a referirme sólo a los hechos más relevantes o que recuerdo mejor.

A principios del 2000, el CI se reorganizó en dos departamentos: el de Investigación Aplicada y el de Desarrollo Tecnológico. El LOA se encontraba en el primero, junto con los laboratorios de Acústica Aplicada y Vibraciones, Cibernética Aplicada, Imágenes y Visión, Microondas y Microlitografía, y Materiales y Sensores. Yo fui nombrado jefe del Departamento de Investigación Aplicada. Al LOA se adscribieron los técnicos académicos M. en C. Rosalba Castañeda Guzmán y el Ing. Asur Guadarrama Santana, quienes ya trabajaban

en otros grupos del CI. Rosalba trabajaría con Mayo Villagrán y Asur Guadarrama con Augusto García. También se incorporó el Dr. Hugo Martín Sobral, para trabajar con Mayo Villagrán. A finales de ese año, Mayo propuso la creación del Laboratorio de Fotofísica, separándose del LOA, junto con sus colaboradores.

En 2002 se incorporaron dos investigadores que tuvieron un paso fugaz por el LOA, la Dra. Celia A. Sánchez Pérez y el Dr. Gabriel Eduardo Sandoval Romero, quienes trabajarían con Augusto García. Eventualmente también formarían un nuevo laboratorio, separándose del LOA a partir del año 2006.

El Dr. Omar G. Morales-Saavedra ingresó al CCADET como investigador asociado al Laboratorio de Fotofísica con el Dr. Mayo Villagrán, pero a partir del 2006 cambió su adscripción al LOA, asociado al Dr. Roberto Ortega y trabajando en Óptica No-Lineal.

En el 2005, el Dr. Maximino Avendaño Alejo se incorporó al CCADET como investigador asociado a mi persona, después de una estancia posdoctoral de dos años. Maximino egresó de la carrera de Ingeniería Física de la UAM-Azcapotzalco y se doctoró en el CIO en León, Gto., trabajando bajo la dirección del Dr. Orestes Stravoudis, en el trazo de rayos en cristales uniaxiales.

El Dr. Jesús Garduño Mejía fue contratado como Investigador Asociado C de Tiempo Completo a partir del 1º de octubre de 2007. Su contrato se produjo a través del Programa de Repatriación CONACYT 2007, adscrito al Grupo de Óptica No Lineal, con el Dr. Roberto Ortega. Jesús egresó de la licenciatura en Física de la FC y se recibió en 1993 con una tesis sobre la caracterización óptica y eléctrica de un láser de N₂, dirigida por Mayo Villagrán. Luego obtuvo su maestría y doctorado en Óptica en el CICESE, de Ensenada.

A inicios de la primera década de este siglo, el Centro de Instrumentos cambió de nombre a Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET. Antes de finalizar la misma década, la estructura del CCADET cambió a cuatro departamentos, uno de ellos sería el Departamento de Óptica y Microondas (DOM). En el DOM se integraron el LOA y el grupo de Óptica de Microondas; el primero se dividió en dos grupos: Óptica No-Lineal (Roberto Ortega, Omar Morales y Jesús Garduño, como investigadores, y Carlos Román como técnico académico) y el de Sistemas Ópticos (Rufino Díaz, Martha Rosete, Neil Bruce y Maximino Avendaño, como investigadores y Mario González y Manuel Campos como técnicos académicos; posteriormente Manuel Campos se convertiría en investigador). El Grupo de Óptica de Microondas estaba integrado por Oleg Kolokoltsev, Naser Qureshi y Elsi Mejía como investigadores y Raúl Ruvalcaba, como técnico académico. De esta forma, el DOM, contaba ya con diez investigadores y cuatro técnicos académicos.

Durante varios años, el número de investigadores permaneció sin cambios, debido a la carencia de nuevas plazas. En el 2014 falleció el Dr. Roberto Ortega, habiendo logrado su meta de formar un grupo de investigación con relevancia y trascendencia nacional e internacional, plasmado en el DOM. Además, con su plaza se dio la oportunidad de realizar nuevas contrataciones.

En julio de 2015 ingresó el Dr. Oscar Gabriel Rodríguez Herrera, para trabajar en el Grupo de Sistemas Ópticos con la Dra. Martha Rosete Aguilar. Él se graduó en 2003 de físico en la FC, bajo la dirección del Dr. Neil Bruce, con la tesis: "Esparcimiento de luz visible para superficies rugosas bidimensionales". En 2004 le fue otorgado el Premio Prometeo, por la mejor tesis de licenciatura nacional en Física Experimental y en 2005 obtuvo su maestría en ciencias físicas, con la tesis: "Cálculo y medición de la matriz de Mueller de un

espejo elipsoidal”, también dirigida por el Dr. Bruce y que le valió ser ganador de la Medalla “Alfonso Caso”. En 2009 obtuvo su doctorado en la Universidad Nacional de Irlanda, en Galway, bajo la dirección del renombrado Prof. Chris Dainty. Su tesis trató la caracterización de campos tridimensionales por polarimetría vectorial. Realizó dos estancias posdoctorales, una en la misma Universidad Nacional de Irlanda y la segunda en la Universidad de Arizona, en Tucson, antes de incorporarse al ICAT.

Al Dr. Daniel Aguirre Aguirre se le contrató en 2016 como Investigador Asociado C, para trabajar en el Polo Universitario de Tecnología Avanzada (PUNTA), con sede en Monterrey, Nuevo León. Es Ingeniero Físico por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, obtuvo su maestría y doctorado en el INAOE, bajo la dirección del Dr. Fermín Granados, con ambas tesis sobre la prueba de Ronchi; en la de maestría, el Dr. Manuel Campos también fue codirector. En el 2011, realizó una estancia de seis meses en el Instituto de Astrofísica de Canarias, España.

En junio de 2017, se contrató al Dr. Pedro Cebrián Xochihuila, como Técnico Académico Asociado C, y en octubre al Dr. Claudio Narciso Ramírez, ambos para trabajar en el Laboratorio Universitario de Fabricación de Equipos Ópticos (LUFABEO), asociados a la Dra. Martha Rosete. En ese mismo año, Manuel Campos se cambió a Investigador Titular A. Todos adscritos al Grupo de Sistemas Ópticos. Ese mismo año, también se contrató al Dr. Amado Velázquez Benítez, en el área de Nanofabricación Avanzada, trabajando con el Dr. Naser Qureshi del Grupo de Fotónica de Microondas.

El Consejo Universitario aprobó la transformación del CCADET en Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT), en marzo del 2018. En la propuesta de transformación, se acordó que como parte de la estructura organizacional se incluiría al Departamento de Óptica, Microondas y Acústica (DOMA), incorporando al grupo de



Integrantes del Laboratorio de Óptica Aplicada en el año 2005.
Comenzando arriba a la izquierda, se encuentran: Rufino Bolado (I), Roberto Colín (L), Mario González (T) y Eduardo Sandoval (I).
En la segunda fila, Luis Castañeda Aviña (E), Maximino Avedaño (I), Roberto Ortega (I), Celia Sánchez (I), y Augusto García (I).
Tercera fila: Carlos Román (T), Asur Guadarrama (T), Rufino Díaz (I), Adriana Erika Martínez Cantón (D), Pedro Arguijo (P).
Cuarta fila: José Antonio Rodríguez Palacios (D), Evelyn Salazar Guerrero (L), Hiromi Valenzo Aoki (L), Karina Concha Santos (M) y Manuel Campos (T).
Martha Rosete (I) y Neil Bruce (I), también miembros del LOA, no aparecen en la foto.
I: Investigador; T: Técnico Académico; E: Estudiante, L: licenciatura, M: Maestría, D: Doctorado; P: Posdoc



Grupo de Sistemas Ópticos, febrero de 2011.

Comenzando arriba a la izquierda, se encuentran: Eduardo Ortiz (D), Flor Estrada Silva (D), Josslyn Beltrán Madrigal (L), Leonor García Martínez (D), Martín Isaías Rodríguez Rodríguez (D), Maximino Avendaño Alejo (I), Martha Rosete Aguilar (I), Perla Carolina García Flores (P), Neil Bruce Davison (I), Dulce María González Utrera (M), Amílcar Javier Estrada Molina (D). Abajo, Rufino Díaz Uribe (I), Sergio Anaya (D), Hugo Alberto Lara García (L), Miguel Ángel González Galicia (D), Manuel Campos García (T), Mario Francisco González Cardel (T).

I: Investigador; T: Técnico Académico; L: licenciatura, M: Maestría, D: Doctorado; P: Posdoc

Acústica Aplicada y Vibraciones, tal vez el grupo de investigación más antiguo del CI-CCADET-ICAT. A finales de ese mismo año se contrató al Dr. José Federico Hernández Sánchez como Investigador Asociado C, en el en el área de Acústica Física, adscrito al grupo de Acústica y Vibraciones. Con él, en el 2020, el DOMA cuenta con un total de 17 investigadores y siete Técnicos Académicos.

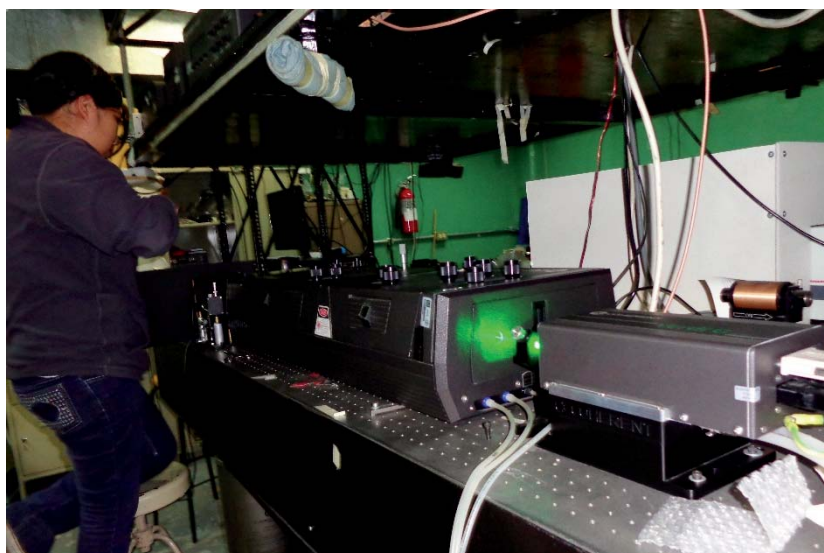
Principales contribuciones en el área de la Óptica

Láseres: Aplicaciones médicas, pulsos ultracortos y óptica no-lineal

A finales de la década de los 80's y principios de la década de los 90's, Roberto Ortega se involucró intensamente en las aplicaciones médicas de los láseres de potencia, principalmente de argón. Colaboraba con médicos de diversos hospitales, llevando en varias ocasiones un láser de argón a diferentes hospitales, para convencer a los médicos de las capacidades y bondades de estas fuentes de radiación intensa y coherente; les mostró sus capacidades para cortar tejidos de forma limpia, cauterizando los vasos donde había hemorragias al cortar por métodos mecánicos, por ejemplo, con bisturí. Involucró a dos estudiantes de Física, Carlos Treviño y Jazmín Carranza, ahora doctores y destacados académicos del INAOE, en el diseño y construcción de un acoplador láser-fibra óptica para aplicaciones médicas. Más adelante, con otro estudiante de Física, Pablo Loza Álvarez, ahora doctor y destacado investigador del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) de Barcelona, España, desarrolló un modelo de los efectos fototérmicos de la radiación láser sobre tejidos orgánicos, que dio lugar a un artículo científico en la prestigiada revista *Applied Optics*.

En su afán de ir más allá de las posibilidades que ofrecían estos láseres y viendo las nuevas técnicas de cirugía láser, propuso la adquisición de un sistema láser de excímero, con el cual también se

iniciaría en el país el uso de láseres de femtosegundos, solicitándose apoyo mediante un proyecto BID-UNAM. Se aprobó el proyecto, pero después de intensas discusiones al interior del Grupo de Óptica Aplicada, se tomó la decisión de adquirir una tecnología más moderna de láser de titanio-zafiro. Con ello, Roberto abrió la puerta a los fenómenos ópticos no-lineales con pulsos ultracortos. Para determinar las propiedades de los pulsos de tan corta duración, se involucró en técnicas de tipo FROG y de transformada de Wigner, realizando una estancia en la Universidad de Saint Andrews, con uno de los líderes de pulsos ultracortos, Derek Reid; esta acción permitió que otros académicos y estudiantes realizaran estancias académicas en el mismo laboratorio. Luego dirigió la tesis doctoral de su primer estudiante de licenciatura, Antonio Rodríguez Rosales, sobre la medición del índice de refracción no lineal de cristales líquidos con el método conocido como Z-scan.



Laboratorio de Pulsos Ultracortos del ICAT, fundado por el Dr. Roberto Ortega. Se muestra a la estudiante Catalina Ramírez Guerra realizando un experimento con el láser de Titanio Zafiro, MIRA, adquiridos con el programa UNAM-BID (fotografía cedida amablemente por el M. en C. Carlos Román Moreno del grupo de Óptica No-Lineal)

Con la llegada del Dr. Jesús Garduño Mejía, la investigación en láseres de pulsos ultracortos tomó un auge mayor; él construyó el primer láser de ese tipo en un laboratorio en México, con una duración inicial de sólo 100 fs. Más adelante, en colaboración con Martha Rosete, lograron disminuir la duración del pulso a 18 fs, probablemente siendo un récord en México. Martha contribuyó de manera fundamental en el entendimiento de cómo las aberraciones involucradas en las componentes ópticas de los láseres ensanchaban los pulsos luminosos y qué medidas deberían de adoptar para evitarlo. En el laboratorio del Dr. Garduño se construyó por primera vez en el país, el primer láser de fibra de pulsos ultracortos en el infrarrojo y el primer oscilador óptico paramétrico, OPO; además, se desarrolló la instrumentación para la caracterización espacio-temporal de los pulsos.

Pruebas ópticas: Deflectometría óptica, topografía corneal y Pantallas Nulas

El área de pruebas ópticas se inició con mi llegada al CI en 1988. El primer proyecto fue continuación de la línea de trabajo que había iniciado con Alejandro Cornejo Rodríguez, del INAOE y mi director de tesis doctoral, denominada Pruebas por Deflectometría Láser; consistió en la prueba de una superficie esférica midiendo las desviaciones de un haz láser reflejado, cuando la esfera se gira en torno de su centro de curvatura. Martha Rosete elaboró su tesis de licenciatura en este tema, graduándose en 1989 y publicando dos artículos en 1993. En 1989 también inicié actividades sobre topografía corneal, primero sobre Keratopografía Láser, de la que resultaron varias tesis, presentaciones en congresos y publicaciones; resaltan tres artículos en revistas indizadas sobre: a) el método de escanear y evaluar la superficie corneal mostrando algunas simulaciones; b) un estudio por simulaciones numéricas acerca de la precisión del método; c) dispositivo experimental construido para escanear la córnea y medir las desviaciones del haz láser reflejado sobre ella.

Más tarde, buscando validar el keratopógrafo láser y ante la falta de recursos para adquirir un videoqueratómetro (ahora topógrafo corneal), comencé el desarrollo de uno en nuestro laboratorio. Pronto advertí que se podía innovar en esta área; la propuesta novedosa fue sustituir los anillos del Disco de Plácido por puntos o manchas individuales, dispuestas en el target de manera que en la imagen se observaran en un arreglo regular de manchas cuando la superficie a evaluar fuera una superficie esférica perfecta; las desviaciones de esa regularidad son evidencia de las deformaciones de la superficie; a esa propuesta, Manuel Campos y yo la llamamos Pantallas Nulas. Esta propuesta dio lugar a una serie de trabajos sobre topografía corneal basada en reflexión de targets, pero también a la prueba de superficies ópticas esféricas rápidas, con y sin simetría de revolución.

Estas ideas básicas dieron origen a toda una línea de trabajo que ahora se enmarca en lo que se conoce como los métodos de deflectometría óptica, para pruebas ópticas; pero lo más interesante de la propuesta es que ha mostrado su capacidad de medir lo que ahora se conoce como superficies de forma libre o *free forms*. Por otro lado, su aplicación a la medición de la topografía corneal desembocó en el desarrollo de un topógrafo corneal portátil, que puede ser utilizado con pacientes no cooperativos como neonatos, bebés y niños, pero inclusive con pacientes con dificultades de movilidad o para permanecer sentados, atentos y siguiendo instrucciones, frente a un topógrafo corneal convencional comercial. La propuesta mostró tener un valor de mercado, por lo que fue necesario la creación de la compañía BlepsVision S.A. de C.V., para su desarrollo y futura comercialización. <https://blepsvision.com/>

Esparcimiento y polarización

Neil Bruce y Martha Rosete diseñaron y construyeron un espárcímetro para la caracterización de superficies rugosas bidimensionales, a raíz del cual encontraron que la medición de los estados de polarización de la luz esparcida era esencial para poder caracterizar completamente las superficies que se medían. De allí comenzaron el desarrollo de polarímetros dinámicos a nivel laboratorio, utilizando retardadores y compensadores de cristal líquido. Pronto se dieron cuenta que estos dispositivos no funcionan de forma ideal, por lo que su calibración y entendimiento resulta básico para realizar mediciones de precisión. Por su parte, Neil mejoró los cálculos de la luz esparcida utilizando la aproximación de Kirchhoff, permitiendo incluir pendientes de hasta 90 grados en las superficies rugosas, donde la aproximación convencional usualmente falla, pues no da buenos resultados durante las simulaciones numéricas.

Diseño Óptico

Martha Rosete ha aplicado su conocimiento del diseño óptico para diseñar bajo pedido sistemas ópticos con fines específicos. Por ejemplo, diseñó las lentes necesarias para observar las moscas en un moscódomo, bajo estudio de un grupo de biólogos y diseñó una lente que amplía el campo visual de una cámara de fondo de ojo, para observar la retina de pacientes que han sufrido un severo daño en la córnea y otras estructuras oculares. Por otro lado, su colaboración resultó fundamental para mejorar el diseño de las componentes ópticas utilizadas en los láseres de femtosegundos construidos en el ICAT; para ello, demostró que la velocidad de grupo es causante del ensanchamiento del perfil temporal de los pulsos ultracortos; este trabajo permitió reducir el ancho de un láser construido en el ICAT hasta 18 Fs.

Infraestructura relevante

Gran parte del trabajo descrito requiere la fabricación de componentes ópticas con formas muy particulares determinadas por el diseñador óptico. La mayoría de los talleres ópticos en instituciones de investigación del país y del extranjero, están dedicados a la fabricación de componentes muy específicas para sus proyectos propios o con fines comerciales; por ello, es difícil o muy caro, conseguir la fabricación de otros diseños. Con el fin de poder construir de forma más expedita y económica los diseños propios, además de poder ofrecer apoyo a otros grupos de investigación y/o desarrollo, desde el 2010 se estableció un taller óptico en el ICAT. Originalmente se fabricó una máquina de pulido convencional para la fabricación de superficies planas y esféricas por medio del pulido óptico tradicional; luego se adquirió una máquina comercial de dos ejes, para componentes de hasta 40 cm de diámetro. Posteriormente se consiguió apoyo de parte del CONACYT para infraestructura, adquiriéndose una máquina de control numérico Zeeko, para fabricar superficies de diversas formas con diámetros de hasta 10 cm. Con ello se constituyó el Laboratorio Universitario de Fabricación de Equipos Ópticos (LUFABEO). Actualmente se encuentran adscritos a él, los Doctores Claudio Ramírez como investigador y Pedro Cebrian Xochihuil, como técnico académico, bajo la dirección de Martha Rosete.

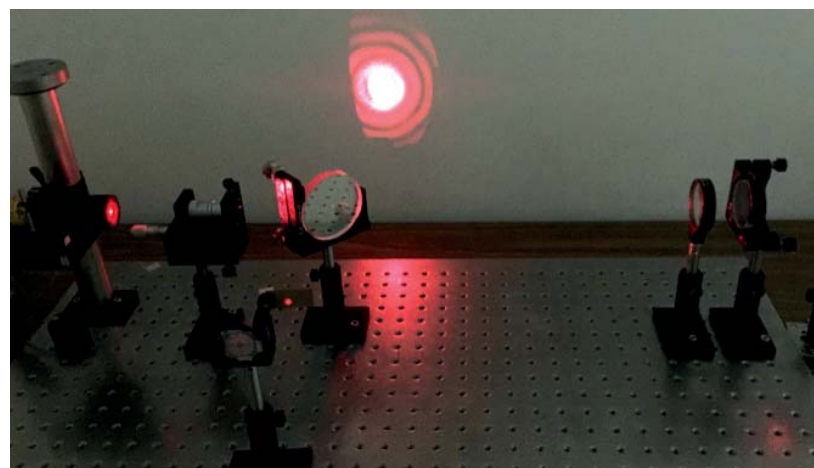
Como parte de las actividades en el área de pruebas ópticas, y para mostrar las capacidades de los métodos de pantallas nulas en la evaluación de sistemas de concentración solar, con apoyo del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-SOL) del CONACYT, alrededor de 2017 se adquirió un helióstato y se fabricó un concentrador parabólico de canal, instalados actualmente en la Planta Solar del Instituto de Ingeniería, cerca del Jardín Botánico de Ciudad Universitaria. Actualmente, en colaboración con Gerado

Ruiz Botello y Rigoberto Nava, del Grupo de Ingeniería de Precisión y Metrología, del Departamento de Instrumentación Científica e Industrial del mismo ICAT, se asesora a una empresa interesada en sustituir combustibles fósiles por energía solar.

En 2018, se consiguió apoyo del Fondo para Laboratorios Nacionales del CONACYT, para establecer una sede del Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión, con lo que se busca contar con la infraestructura necesaria para continuar la investigación en topografía corneal e iniciar otras líneas de investigación y desarrollo, relacionadas con el mejor entendimiento y caracterización del sistema visual humano. De forma independiente, el Dr. Oleg Kolokoltsev, líder del grupo de Fotónica de Microondas desarrolló tres sistemas experimentales diferentes de OCT's (Optical Coherence Tomography), con aplicaciones potenciales a la observación y medición de sistemas biológicos o biomédicos; estos desarrollos se han encontrado con el problema de analizar un número muy grande de datos experimentales. Esperemos ver soluciones prácticas en los siguientes años.

Expandiendo los estudios de la Óptica, los Dres. Oleg Kolokoltsev y Naser Qureshi comenzaron a estudiar fenómenos en las frecuencias de microondas y terahertz, en el entonces CCADET. Se han desarrollado trabajos para la instrumentación de la microscopía terahertz. Posteriormente dentro del mismo grupo, en 2018, Naser Qureshi y Amado Velásquez comenzaron la construcción de un sistema de nano- y micro-litografía, enfocado a fabricar dispositivos fotónicos y electroópticos para la creación de sistemas integrados.

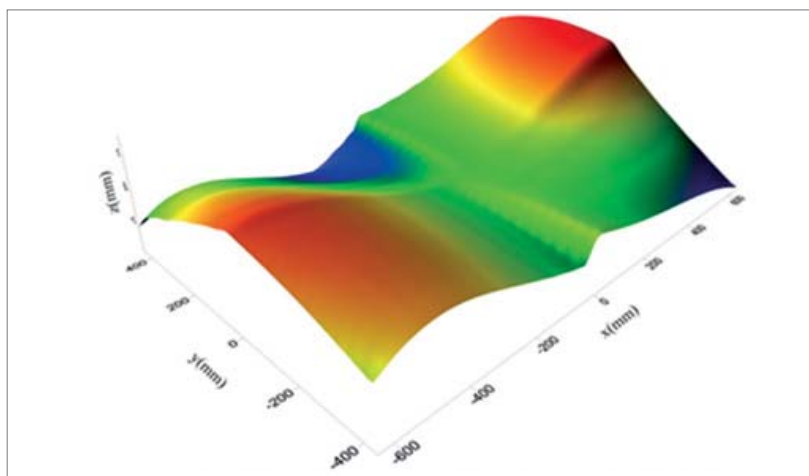
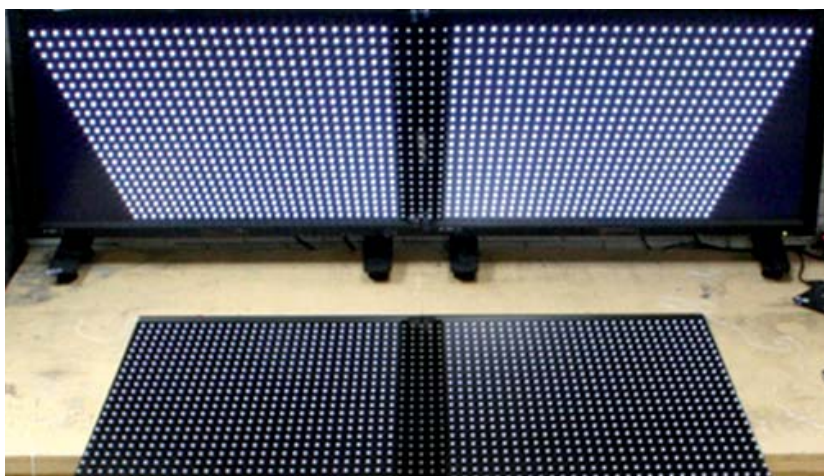
Lo descrito es sólo una parte muy limitada de las contribuciones científicas y tecnológicas conseguidas por los diferentes integrantes del inicial Laboratorio de Óptica Aplicada y de los grupos de investigación en los que se transformó posteriormente.



Izquierda, se muestra detalle del brazo oscilante, los dos ejes y la charola de recuperación del abrasivo de pulidora tradicional para óptica de hasta 40 cm. Centro, pulidora de control numérico para óptica de hasta 10 cm. Derecha, arreglo interferométrico tipo Twyman-Green, para probar la óptica fabricada en el LUFABEO



Izquierda, Concentrador Parabólico de Canal (CPC), diseñado y fabricado en el ICAT, en colaboración del Laboratorio de Metrología y de la Unidad de Fabricación de Prototipos (centro). Derecha, helióstato adquirido. Ambos equipos están instalados en la Planta Solar de Ciudad Universitaria, en colaboración con el Instituto de Ingeniería (Proyecto CEMIE-SOL, CONACYT)



Arriba, Laboratorio de Metrología Óptica a cargo del Dr. Manuel Campos, se muestra el arreglo experimental para probar un CPC (izq.); en el centro se ven las imágenes obtenidas de la reflexión de una pantalla nula en el CPC, y a la derecha el mapa de elevación medido. Abajo, en el Laboratorio de Sistemas Ópticos se muestra la prueba de un espejo plano de grandes dimensiones por pantallas nulas, con el mapa de elevación obtenido en 3D

Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión en donde se puede ver parte de los equipos instalados en el área clínica. De izquierda a derecha, un lensómetro, un topógrafo corneal y una lámpara de hendidura, con la computadora para su control



Trascendencia

A lo largo del desarrollo de la Óptica en el ICAT, el trabajo desarrollado ha repercutido más allá del propio Instituto, de la UNAM y de nuestro país; ya sea por la publicación de artículos en revistas internacionales, por la participación en congresos y en su organización, por el número de citas, etc. Basta mencionar algunos datos de interés. Hasta el 2016, en el área de Óptica, se habían publicado 419 artículos internacionales indizados (incluyen proceedings indizados). Considerando los 12 investigadores más antiguos del Departamento

de Óptica, Microondas y Acústica (excluyendo al área de acústica, por ser un área no contenida en la Óptica y porque su incorporación al Departamento es muy reciente), el promedio de artículos indizados publicados por investigador de por vida, según SCOPUS, es de 67 (con un máximo de 109), el promedio de citas es de 394 (Máximo, 808) y el índice H, es de 11 (máximo, 16); considerando un promedio de 21 años de vida productiva (máximo, 36), se tiene un promedio (máximo), de 3.1 (5.0) artículos y 18.6 citas (45); el número de citas por artículo es de 6.0 (12). Es importante señalar que en estos datos se incluye la productividad de Roberto Ortega, pues, aunque falleció

en 2014, su contribución forma un legado importante al área. Los 12 investigadores pertenecen (o pertenecieron) al Sistema Nacional de Investigadores; ninguno ha alcanzado el nivel 3, pero sólo tres son nivel 1. La participación en comités organizadores y sociedades científicas internacionales es abundante y relevante, Martha Rosete es *Division Editor* y Neil Bruce es *Topical Editor, de Applied Optics*. Yo mismo fui parte importante de los comités organizadores del primer congreso CAM-1994 (1994-Canadá-América-México) y del Congreso Mundial de Óptica ICO-22 (2011), ambos realizados en México. Roberto Ortega, en los años 90 fue parte de las comisiones evaluadoras del SNI (como invitado para el área de Óptica) y organizó el OPTILAS (1990-Congreso Latinoamericano de Óptica, Láseres y sus Aplicaciones), del cual fue promotor desde los años 80's en Brasil.

Finalmente, vale la pena resaltar que la participación de los académicos del área de la Óptica en la docencia y en la formación de personal, por medio de servicios sociales y desarrollo de tesis de licenciatura y posgrado, es cada vez más notable. Cuando me incorporé al Centro de Instrumentos en 1988, sólo Roberto Ortega y yo impartíamos cursos de Óptica y dirigíamos tesis en la UNAM. Había algunos colegas en los Institutos de Astronomía y Física que realizaban una labor similar, pero el grueso de la formación de nuevos ópticos se realizaba en los institutos y centros foráneos, principalmente el INAOE en Puebla, el CICESE en Baja California y el CIO en Guanajuato; actualmente el ICAT es reconocido tanto en investigación como en docencia y formación de recursos humanos, en el área de Óptica a nivel nacional e internacional, pues en el ICAT se han formado estudiantes latinoamericanos, sobre todo. Una muestra del nivel de excelencia alcanzado en la docencia son las dos medallas "Antonio Caso" obtenidas por los estudiantes de maestría Oscar Gabriel Rodríguez Herrera (2005, asesorado por Neil Bruce) y Oliver Huerta Carranza (2017, asesorado por mí). Adicionalmente,

en el 2019 volví a ser reconocido por la propia UNAM al otorgarme el Premio Universidad Nacional 2019, en el área de Docencia en Ciencias Exactas.

Es importante reconocer también la importante contribución de los investigadores y técnicos del área de Óptica para convertir al CCADET en el ICAT, en 2018. La Óptica es una de las áreas de trabajo destacadas y pilares del ICAT. El esfuerzo y la visión de Roberto Ortega como líder fundador de esta área en el Centro de Instrumentos, ha alcanzado la meta inicial de contar con un grupo de investigación y desarrollo de nivel internacional, con reconocimiento por sus pares. Esperamos que los frutos de tal iniciativa se vean coronados de mayores logros científicos y tecnológicos relevantes en el futuro.