

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

**PRESENTACIÓN Y, EN SU CASO, APROBACIÓN DE LA CREACIÓN DE UN
DOCTORADO EN
CIENCIAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS BIOMÉDICAS**

MOTIVACIÓN

El Programa del **Doctorado en Ciencias en el área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas**, es esencial para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, debido a que su impulso contribuye al desarrollo científico y tecnológico del país, por medio de la formación de recursos humanos de alto nivel y a la atención de las necesidades del sector productivo y a las de la sociedad mexicana. Su creación no tiene impacto presupuestal ya que la planta académica, estará conformada por los investigadores del INAOE, así como del personal vinculado con el Instituto.

FUNDAMENTACIÓN

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, solicita a este Órgano de Gobierno en ejercicio de sus atribuciones indelegables previstas en el 56, fracción I de la Ley de Ciencia y Tecnología, así como en sus facultades contempladas en el artículo 12, fracción V del Decreto por el cual se reestructura el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, apruebe la creación de un doctorado en Ciencias en el área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas y que tiene por objeto preparar doctores en ciencias con un profundo dominio teórico y práctico en la instrumentación, el procesamiento de señales y en particular de las bioseñales, y los procesos computacionales requeridos para su funcionamiento automatizado y autónomo y con suficiente madurez científica que aproveche la capacidad para enfrentar y resolver problemas científicos, mismo que no tiene un impacto presupuestal directo.

El Presidente Suplente sometió a consideración de los Consejeros la aprobación de la solicitud y habiéndose manifestado todos a favor, se adoptó el siguiente:

ACUERDO

Con fundamento en lo dispuesto por los artículos 56, fracción I de la Ley de Ciencia y Tecnología; así como en las facultades contempladas en el artículo 12, fracción V del Decreto por el cual se reestructura el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, apruebe la creación de un Doctorado en Ciencias en el área de Ciencia y Tecnología Biomédica y que tiene por objeto preparar doctores en ciencias con un profundo dominio teórico y práctico en la instrumentación, el procesamiento de señales y en particular de las bioseñales, y los procesos computacionales requeridos para su funcionamiento automatizado y autónomo y con suficiente madurez científica que aproveche la capacidad para enfrentar y resolver problemas científicos, mismo que no tiene un impacto presupuestal directo.

Plan de Estudios

2017

Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas



Dirección de Formación

Académica

Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica

28/06/2017



Directorio

**Dr. Leopoldo Altamirano Robles
Director General**

**Dr. José Javier Báez Rojas
Encargado del Despacho de la
Dirección de Formación Académica**

**Dr. Carlos Alberto Reyes García
Coordinador del Posgrado de
Ciencias y Tecnologías Biomédicas**



Índice

	Pág.
I. PRESENTACIÓN	1
a) Nombre del programa	1
b) Líneas de investigación que oferta el programa	1
c) Título académico que se otorga	1
d) Modalidad en que se imparte	1
e) Obtención del grado	1
II. FUNDAMENTACIÓN Y ANTECEDENTES	2
a) Justificación del programa	5
b) Estado actual y tendencias futuras de las líneas de conocimiento que abarca	8
c) Estado del arte y viabilidad del programa	14
d) Tendencia del mercado laboral	16
e) Análisis de las políticas educativas y la ubicación del proyecto en la planeación institucional	18
f) Vinculación instituto-sociedad	18
III. DEFINICIÓN DEL PERFIL PROFESIONAL	20
a) Misión	20
b) Visión	20
c) Objetivos y metas	20
d) Perfil de ingreso	22
e) Perfil de egreso	22
f) Formas de evaluación	23
IV. EXPLICACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS	24



V. ESTRUCTURA DEL MAPA CURRICULAR	25
VI. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS	29
a) Requisitos de ingreso	29
b) Requisitos de permanencia	29
c) Requisitos de egreso	30
d) Límites de tiempo para cursar el plan de estudios	30
e) Movilidad estudiantil	30
f) Idioma extranjero	31
VII. FACTIBILIDAD ACADÉMICA	33
Síntesis Curricular de la Planta Académica	35
VIII. APOYO INSTITUCIONAL E INFRAESTRUCTURA	57
Apoyo Institucional	57
Infraestructura	58
Espacios y Equipamiento	58



I. Presentación

a) Nombre de la carrera.

Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas

b) Líneas de Investigación que oferta el programa.

- Biofotónica y Óptica Biomédica (BOB)
- Procesamiento de imágenes y señales biomédicas (PISBi)
- Sensores biomédicos (SB)
- Instrumentación biomédica (IB)

c) Título académico que se otorga.

Doctor en Ciencias en la Especialidad en Ciencias y Tecnologías Biomédicas

d) Modalidad en que se imparte.

Escolarizada

e) Obtención del grado.

Mediante la defensa de tesis



II. Fundamentación y Antecedentes

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) fue creado por decreto presidencial el 11 de noviembre de 1971. Este decreto de creación del INAOE se actualizó y publicó nuevamente en el Diario Oficial de la Federación el 30 de agosto de 2000; de este decreto se reproduce el primer artículo que a la letra dice:

“Artículo 1º.-El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con domicilio en Tonantzintla, Estado de Puebla, y tiene por objeto identificar y procurar la solución de problemas científicos y tecnológicos en los campos de astrofísica, óptica, electrónica, telecomunicaciones, computación, instrumentación y demás áreas a fines, por medio de la investigación científica, básica y aplicada, el desarrollo experimental y la innovación tecnológica relacionados con las áreas mencionadas; preparar investigadores, profesores especialistas, expertos y técnicos en el campo del conocimiento referido, en los niveles de especialización, licenciatura, maestría, doctorado y postdoctorado, así como orientar sus actividades de investigación y docencia hacia la superación de las condiciones y la resolución de los problemas del país, y podrá contar con establecimientos en cualquier otra parte de la República Mexicana.”

Basado en este artículo y cumpliendo lo que establece la Ley de Ciencia y Tecnología, de asociar el trabajo científico y la formación de recursos humanos de alto nivel al desarrollo del conocimiento y a la atención de las necesidades del sector productivo y la sociedad mexicana, es que se toma la decisión de crear la propuesta de este programa de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas, cuyo objetivo principal es el de preparar recursos humanos capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos fundamentales en el área de la Ciencia y Tecnología Biomédica, logrando un aspecto multidisciplinario al integrar otras áreas de la ciencia con la medicina.

Dado el impacto económico, científico, social y benéfico que esta área tiene a nivel nacional, así como a nivel internacional; el INAOE consideró someter a evaluación la propuesta del Programa, puesto que es fundamental para el desarrollo de la ciencia y tecnología en el país. El programa está basado en el conocimiento nuevo a través de la investigación en las áreas que forman parte de las líneas que oferta el programa, entre las cuales se encuentran láseres, análisis de señales médicas, sensores químicos y electromecánicos, interfaces cerebro-computadora, entre otras. Finalmente se hace notar que el INAOE tiene una amplia experiencia en vinculación con los sectores productivo, científico y social.



Con la apertura de este nuevo programa de doctorado se abrirán nuevas colaboraciones y se fortalecerán las ya existentes con diferentes organismos nacionales e internacionales. Algunos investigadores del INAOE ya pertenecen a grupos de trabajo en el área de la medicina y rehabilitación. La idea principal es establecer lazos de colaboración con otras instituciones que cuenten con áreas médicas y de rehabilitación, así como instituciones del sector público.

Dados estos antecedentes y las proyecciones e impacto económico, científico, social y benéfico que esta área tiene no sólo a nivel nacional, sino a nivel internacional también; el INAOE consideró someter la propuesta del Programa de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas en la Segunda Sesión Ordinaria de 2017 de su H. Junta de Gobierno. Esta propuesta fue aprobada por unanimidad. La H. Junta de Gobierno del INAOE consideró que este programa de doctorado es fundamental para el desarrollo de la ciencia y tecnología biomédica en el país.

2.1 Justificación del programa

El programa de doctorado aquí propuesto es altamente justificable y pertinente: no existen en el país programas que cubran las áreas o líneas de conocimiento que lo conforman de la manera integral y con las especialidades de soporte con que se propone en INAOE.

En México se realizan esfuerzos para enfrentar el reto de impulsar los posgrados, maestrías y doctorados, como factor importante, debido a que es la vía principal para la formación de los profesionales altamente especializados para el desarrollo de la investigación científica, la innovación tecnológica y la competitividad que requiere el país.

Este doctorado contribuye a lograr el objetivo 3.5 del Plan Nacional de Desarrollo, el cual es hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible; puesto que apoya en la creación de recursos humanos de alto nivel que pueden expandir la cooperación internacional en temas de investigación científica y desarrollo tecnológico, volviendo a México un país con mayor participación dentro de la comunidad global.

Considerando de igual manera el Plan Nacional de Desarrollo, con este doctorado se busca aumentar la disponibilidad de capital semilla para motivar la generación de empresas de base tecnológica, así como consolidar la continuidad y disponibilidad de los apoyos necesarios para que los investigadores en México puedan establecer compromisos para abordar problemas científicos y tecnológicos relevantes.

También, al desarrollar este programa se promueve la vinculación del INAOE con los sectores público, social y privado, puesto que se impulsan y potencializan las competencias y las habilidades integrales de las personas que ingresan al doctorado.

Durante el último cuarto de siglo se ha incrementado el uso de equipamiento eléctrico, fotónico y electrónico en el campo de la medicina para propósitos clínicos y de investigación. Además, la medicina está ahora equipada con más y más señales e imágenes tomadas del cuerpo humano.

La tecnología inteligente se encuentra presente en todas las áreas de la sociedad moderna y la instrumentación médica no escapa de esta realidad, debido a que uno de sus objetivos es garantizar una buena calidad de vida proporcionando una atención de salud óptima en situaciones de emergencia, diagnósticos, procedimientos quirúrgicos y hospitalización.



Actualmente, la demanda de personal especializado en la ingeniería y ciencias biomédicas para la investigación, diseño, fabricación, mantenimiento, calibración, modificación y capacitación de personal en el uso de equipo e instrumentos biomédicos ha ido creciendo conforme a los avances en la tecnología médica, planteando retos sobre su eficacia, eficiencia y seguridad.

Sin embargo, la falta de un campo interdisciplinario en las carreras y posgrados ha resultado ser una limitante en el desarrollo y la innovación en el área de la ingeniería biomédica. Derivado de lo anterior, es claro que se requieren profesionistas con una adecuada formación multidisciplinaria en ciencia, medicina y tecnología la cual contribuiría en gran medida a la solución de esta problemática.

Todo lo expuesto fundamenta la creación de un doctorado que aporte soluciones a los problemas de investigación y tecnología médica a nivel local, nacional e internacional. Considerado, además, que el INAOE cuenta ya con convenios de colaboración con instituciones dedicadas a la investigación y cuidado de la salud, tales como el Hospital Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía "Manuel Velasco Suárez", el Centro de Estudios y Prevención del Cáncer (CEPREC), el Instituto de Oftalmología "Conde de Valenciana" IAP, Instituto Nacional de Rehabilitación por nombrar algunos

2.2 Estado actual y tendencias futuras de las líneas de conocimiento de ciencias y tecnologías biomédicas.

El doctorado aquí propuesto es un programa en el cual los estudiantes adquieren los conocimientos esenciales y las habilidades de investigación en varias áreas de la ciencia y tecnología biomédica. El egresado podrá trabajar en una variedad de lugares, incluyendo hospitales, laboratorios independientes, clínicas, consultorios médicos, agencias gubernamentales locales o estatales, firmas farmacéuticas o de cosméticos e instituciones de investigación.

El programa refleja una naturaleza multidisciplinaria ya que genera ciencia básica y aplicada con énfasis en las siguientes líneas de Generación y/o Aplicación del Conocimiento incluidas dentro del Programa:

2.2.1. Biofotónica y Óptica Biomédica.

La biofotónica utiliza una fuente de luz, la cual puede ser la de un láser o alguna radiación invisible al ojo humano, ésta se hace incidir en algún tejido o célula para conocer procesos orgánicos de manera no invasiva.

Junto con otras tecnologías, la biofotónica tiene numerosas posibilidades en la biomedicina. Actualmente, especialidades como la dermatología, oftalmología, cirugía, neurología, cardiología y oncología, aplican la biofotónica en la prevención, diagnóstico o terapia de algunas enfermedades. Desde el 2006 el INAOE cuenta con el Laboratorio de Óptica Biomédica, siendo su área estratégica de aplicación la Biofotónica. El objetivo estratégico de este laboratorio ha sido realizar investigaciones teóricas y experimentales sobre la interacción de la luz con los tejidos biológicos, incluyendo el estudio de muestras ex-vivo de tejidos e investigaciones in-vivo en pacientes, para establecer metodologías propias de diagnóstico y de nuevas terapias basadas en el uso del láser y la radiación óptica en general.



De entre los objetivos prioritarios de todos los países, en particular de México, destaca la búsqueda de soluciones a los problemas de salud, por esto, una de las áreas prioritarias del INAOE, es la Óptica Biomédica, con el objetivo de colaborar en la solución de los problemas de salud de la sociedad mexicana. El laboratorio de Óptica Biomédica ha impulsado la integración del INAOE con las instituciones con las que tiene relación, como el Hospital Universitario de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía "Manuel Velazco Suárez" y el Centro de Estudios y Prevención del Cáncer, CEPREC.

Dentro de los temas o sub-líneas de investigación dentro de la Biofotónica y Óptica Biomédica se tendrán los siguientes:

• **Pinzas ópticas**

Hacen posible la manipulación tridimensional de micro-objetos, mediante un haz de luz fuertemente enfocado. La habilidad de confinar objetos biológicos sin dañarlos, y además manipularlos para estudiarlos en combinación con otras técnicas microscópicas como fluorescencia o Raman, se convierte en una herramienta muy poderosa en el entendimiento de los procesos moleculares y celulares.

Las pinzas ópticas permiten medir y ejercer fuerzas menores que las obtenidas con un microscopio de fuerza atómica, por ello se han usado en el estudio de la dinámica molecular, motores moleculares, flagelos de bacterias, adhesión celular de proteínas. Además, se ha confirmado que la manipulación con pinzas ópticas de células neuronales, estimula la secreción de factores de crecimiento neuronales, con lo que se abre la posibilidad de conexiones neuronales y posibles curas a ceguera, parálisis y otras enfermedades cerebrales degenerativas.

Los sistemas de pinzas ópticas son útiles en el estudio de la deformación de glóbulos rojos, permitiendo determinar si la célula está infectada a través de la dinámica viscoelástica de su estructura, así como detalles del proceso de parasitación, esta técnica se puede extender a la identificación y caracterización de glóbulos blancos y células cancerígenas de diferentes tipos. Mejorar las técnicas de detección y diagnóstico de enfermedades como cáncer y aquellas provocadas por virus repercutirá en el tratamiento y la calidad de vida de los pacientes. Se desarrollan pinzas ópticas para manipular células y bacterias en el Laboratorio de Biofotónica del INAOE.

• **Microfluídica (*lab-on-a-chip*).**

La microfluídica es la ciencia que estudia los sistemas para manipular cantidades muy pequeñas de fluido (10^{-9} a 10^{-18} litros), empleando canales con dimensiones desde unas cuantas micras hasta cientos de micras. El campo de la microfluídica tiene su origen en cuatro áreas: el análisis molecular, la biodefensa, la biología molecular y la microelectrónica. Esta última permite la fabricación de microsistemas altamente integrados que sean capaces de realizar varias funciones en un mismo microdispositivo. La meta final del campo de la microfluídica en el área de bioseparaciones, es la creación de microdispositivos de diagnóstico, integrados y portátiles que puedan utilizarse en casa o en cualquier otro lugar



El desarrollo de la microtecnología ha dado origen a los *lab-on-a-chip* (LOC) o laboratorios en un microdispositivo. Dichos microsistemas realizan las funciones de equipo de laboratorio convencional, con las ventajas que requieren cantidades de muestra muy pequeñas, menores tiempos de respuesta y son portátiles. Las aplicaciones principales de los LOC en la medicina humana están en el análisis de fluidos del cuerpo humano, aplicaciones en ingeniería ambiental para analizar la concentración de algún contaminante, o como un sensor utilizado en control de calidad en un proceso de producción.

En un futuro, los análisis que se realizan como parte de la vida cotidiana, serán realizados en microanalizadores. En México estos microanalizadores podrían ser usados para la realización de análisis clínicos en poblaciones alejadas, acortando el tiempo de espera. Uno de los esfuerzos más importantes para el desarrollo de los microsistemas en México, lo llevó a cabo la Fundación México Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC), con el lanzamiento de la iniciativa Centro de Articulación Productiva en Microsistemas CAP-MEMS. Esta iniciativa incluye varias universidades y centros de investigación, entre ellos el INAOE, donde se llevan a cabo las labores de fabricación dentro del grupo de Microelectrónica.

La iniciativa CAP-MEMS, comprende desde cursos y talleres de entrenamiento para investigadores interesados en el área de MEMS, hasta las colaboraciones estratégicas establecidas entre más de una decena de universidades y centros de investigación. En el INAOE ya se cuenta con el Laboratorio de Innovación en Microsistemas (MEMS)

• Láseres

La palabra láser es un acrónimo que significa *Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation* (luz amplificada por emisión estimulada de radiación). Un láser es básicamente una fuente de luz, que a diferencia de la luz visible sólo tiene una longitud de onda. Un láser es un rayo concentrado y potente.

Los principales desarrollos en el área de los láseres dentro de la biofotónica se centran en la construcción, caracterización y manejo de láseres de fibra óptica con emisión en el infrarrojo para aplicaciones en oftalmología. También se han desarrollado interferómetros de moteado y otros elementos ópticos holográficos para su uso en lentes, filtros o conformadores de haz. Existen avances en la construcción de amplificadores y láseres, por otra parte, se desarrollan técnicas de caracterización experimental de la fibra óptica, así como modelos teóricos que permiten el diseño optimizado de los láseres en distintas aplicaciones.

El desarrollo de los láseres está fuertemente ligado a la medicina. Originalmente, el láser se ha empleado como una alternativa al bisturí, ya que los láseres de pulsos ultracortos suponen una ventaja frente a las técnicas quirúrgicas convencionales, debido a que tienen posibilidades únicas como la cirugía subcelular o nanocirugía.

Actualmente, tiene una infinidad de aplicaciones en el campo de la medicina, como la medicina estética, la corrección de la miopía e hipermetropía y otras alteraciones oculares. Los láseres también se ocupan en la eliminación de tumores, por ejemplo, en el tratamiento de cáncer de próstata y en el de cuello de útero.

El diagnóstico de enfermedades es otro campo en el que se han empleado láseres, ejemplos de esto son: la fibra óptica en la endoscopia, la tomografía de coherencia óptica (OCT) y la microscopía de alta resolución. El laboratorio de fibras ópticas del INAOE, está dedicado a la investigación y diseño de diversos dispositivos de fibra óptica, con un potencial de aplicación en distintas áreas tales como: sistemas de comunicación, investigación médica, instrumentación, sensores ópticos, etcétera.



En los últimos años, la investigación se enfoca en láseres de fibra óptica para generar pulsos cortos y ultracortos, los cuales son los aplicados en biomedicina. Así mismo, se cuenta con el Laboratorio de Comunicaciones Ópticas, el cual está dedicado exclusivamente a la docencia y cuenta con láseres de varios tipos, montajes y equipo óptico, así como equipo electrónico. Esto permitirá que los estudiantes de este posgrado complementen sus cursos teóricos.

• **Espectrofotometría.**

La Espectrofotometría es uno de los métodos de análisis ópticos más usados y se basa en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración. Existen distintos tipos de espectrofotometría: de absorción molecular VIS-UV, de absorción molecular IR, de absorción y de emisión atómica, con atomizadores electrotérmicos, de emisión con plasma y de fluorescencia molecular. Es un método óptico de diagnóstico no invasivo que utiliza la absorción o reflexión de determinada longitud de onda, producida por los diferentes grupos funcionales que se encuentran en los tejidos. La onda reflejada puede ser analizada y proporciona información acerca de la muestra como: geometría del objeto, tamaño, distribución y composición. Esto permite conocer diversas variables fisiológicas en tiempo real como la saturación de oxígeno en cualquier tejido, lo cual tiene una aplicación directa en medicina al ser útil en la identificación de procesos de isquemia y en la medición de flujos sanguíneos para diversas especialidades médicas, así como para la detección de tumores y la determinación de la vascularización de extremidades. En el Laboratorio de Óptica Biomédica se han estudiado herramientas alternativas para el diagnóstico de tejidos anómalos, esto mediante el uso de la espectroscopia de reflexión difusa y la espectroscopia de auto-fluorescencia, para ello se debe desarrollar instrumentación y equipamiento necesarios, así como los algoritmos y metodologías de diagnóstico. Actualmente existen equipos comerciales que realizan este tipo de mediciones; espectrógrafos, espectrómetros, etcétera, estos no están diseñados para este tipo de aplicaciones, así que en este posgrado se utilizarán los equipos de espectrometría ya adquiridos para generar nuevos productos y para ser aplicados en mediciones biomédicas. Por otra parte, se cuenta con en el Laboratorio de Espectrofotometría y Colorimetría, el cual es un organismo que está dirigido a brindar servicios de medición y calibración en Colorimetría y Espectrofotometría UV-VIS, así como en magnitudes afines como un laboratorio acreditado, en conformidad con la norma ISO 17025.

• **Óptica visual.**

El objetivo principal de la óptica visual es la investigación sobre la comprensión de los mecanismos de visión, los procesos involucrados en el diseño y fabricación de los elementos ópticos destinados al diagnóstico y tratamiento de patologías visuales y el desarrollo de las tecnologías necesarias relativas a la aplicación de los procesos de visión en sus diversas ramas. La óptica visual es un área interdisciplinaria donde se requiere de profesionales del área médica (oftalmólogos y fisiólogos), optometristas, ingenieros biomédicos, y biofísicos. Las metas de esta área son: obtener un mejor conocimiento de los mecanismos de visión; diseñar y producir instrumentos auxiliares para la corrección de ametropías visuales, diagnosticar patologías y adicionalmente poder proporcionar servicios clínicos especializados a la población a través de vinculación con instituciones del sector salud.



2.2.2. Procesamiento de imágenes y señales biomédicas.

En esta área se emplean técnicas y sistemas de tratamiento de la información referentes a imágenes biomédicas y a señales biomédicas para obtener diagnósticos médicos mejor fundamentados. En el campo médico, se utilizan las imágenes para realizar diagnósticos, planear un tratamiento y monitorear cambios en el tiempo con respecto a alguna patología. Partiendo de una imagen original que suministre información lo más aproximada posible, en el procesamiento de imágenes se utilizan técnicas para realzar o modificar una imagen para mejorar su apariencia o destacar algún aspecto de la información contenida en la misma. Las imágenes médicas se caracterizan por la dificultad que existe de generar información válida para ser procesada, debido a que poseen gran cantidad de ruido y una enorme variabilidad en sus propiedades. En el cuerpo humano cada sistema orgánico genera una cantidad de señales que informan sobre el estado del mismo, esto es un estado normal o enfermo. Una enfermedad en un sistema causa una alteración funcional, lo que genera señales que son diferentes a las señales en estado normal.

El objetivo del área de procesamiento de imágenes y señales es el de representar, manipular y procesar éstas para contribuir al diagnóstico y curar enfermedades. El INAOE cuenta con un laboratorio de procesamiento de bioseñales y computación médica, en donde algunos investigadores de ciencias computacionales y electrónica, realizan el procesamiento de imágenes y señales biomédicas, sin embargo, se desea ampliar su experimentación. Dentro de los temas o sub-líneas de investigación dentro del procesamiento de imágenes y señales biomédicas se tendrán los siguientes:

• Neuro imágenes.

Es un conjunto de técnicas utilizadas en Neurología que sirven para realizar el diagnóstico mediante la obtención de imágenes del sistema nervioso central. Las técnicas de neuroimagen tienen dos características generales: miden o valoran un aspecto o característica del cerebro y traducen la información recibida en una imagen o una expresión numérica para ser estudiada por el investigador. Las técnicas se dividen en dos tipos:

- Estructurales. Se ocupan de medir el tamaño total del cerebro y las regiones específicas dentro de él, con ello se pueden relacionar las zonas del cerebro y el desempeño psicológico para detectar anomalías.
- Funcionales. Se dedican a medir la activación cerebral durante alguna actividad psicológica. En el laboratorio de Procesamiento de Bioseñales y Computación Médica, se realizan aplicaciones en neuroimágenes ópticas funcionales.

• Tratamiento del habla.

El desarrollo de la electrónica y la tecnología de las computadoras están causando un crecimiento enorme del uso de las máquinas para procesar información. En la mayoría de los casos, esta información proviene de un ser humano y finalmente es usada también por un ser humano. Por lo tanto, son necesarios métodos efectivos de transferencia de información entre hombres y máquinas en ambas direcciones.

Desde el punto de vista acústico, el habla es una señal sonora que varía en frecuencia y en amplitud a lo largo del tiempo. El habla puede analizarse acústicamente mediante diversos tipos de representaciones:



- Oscilograma
- Espectro
- Espectrograma
- Curva melódica
- Curva de intensidad

El INAOE cuenta con un Laboratorio de Tecnologías del Lenguaje, en donde se realiza investigación básica y aplicada en el tratamiento del lenguaje humano por medios artificiales, el cual tiene las siguientes capacidades: reconocimiento y tratamiento del lenguaje oral, análisis de colecciones documentales utilizando técnicas de minería de textos, gestión y recuperación de información multilingüe y multimodal, clasificación temática y no-temática de grandes colecciones de textos, entre otras capacidades.

• **Tomografía computarizada y tomografía fotoacústica.**

La tomografía computarizada (TC), es una tecnología para diagnóstico con imágenes. Utiliza un equipo de rayos X especial en el que se proyecta un haz angosto de rayos X a un paciente y se gira rápidamente alrededor del cuerpo, produciendo señales que son procesadas por la computadora de la máquina para crear imágenes transversales del cuerpo. Entre los usos de la TC se incluye la exploración de:

- Huesos fracturados
- Cánceres
- Coágulos de sangre
- Signos de enfermedad cardíaca
- Hemorragia interna

A diferencia de una radiografía convencional que utiliza un tubo fijo de rayos X, un escáner de TC utiliza una fuente motorizada de rayos X, que gira alrededor de una abertura circular de una estructura en forma de dona llamada Gantry. La tomografía fotoacústica (TFA), es una técnica no ionizante y no invasiva para imágenes de objetos. Esta técnica de imagen se basa en la detección de ondas acústicas ultrasónicas que son generadas por pulsos cortos de un láser en cuestión de nanosegundos.

Una de las ventajas de la TFA es que permite modelar estructuras pequeñas, además, procesa imágenes a profundidades de hasta 7 cm. Actualmente, se usa en el campo de la medicina como una alternativa de los rayos X y técnicas de ultrasonido, ya que combina un alto contraste óptico y una alta resolución ultrasónica.

En el Laboratorio de Microscopía y Metrología Dimensional del INAOE, se investiga sobre diversas técnicas tomográficas.

• **Análisis de señales biomédicas.**

Las señales biomédicas se utilizan fundamentalmente para extraer información del sistema biológico bajo estudio. Para un análisis estructurado de este tipo de señales se puede emplear la siguiente clasificación:



- Señales de Bio-impedancia
- Señales Bioacústicas
- Señales Biomagnéticas
- Señales Biomecánicas
- Señales Bioquímicas
- Señales Bio-ópticas
- Señales Bioeléctricas

Actualmente, algunos investigadores de las coordinaciones de ciencias computacionales y electrónica del INAOE, están estudiando diversas bioseñales y se planea ampliar su experimentación.

2.2.3. Sensores biomédicos.

Los sensores biomédicos son instrumentos analíticos que transforman procesos biológicos en señales eléctricas u ópticas y permiten su cuantificación y utilizan la especificidad de los procesos biológicos. Las ventajas que ofrecen son: reutilización, menor manipulación, menor tiempo de ensayo y repetitividad. Estos sensores se clasifican de acuerdo a la bioseñal que miden o detectan (véase apartado 2.2.2). Las áreas críticas para la construcción de un biosensor, es el acoplamiento de un componente biológico a un transductor y el subsecuente sistema de amplificación. Dentro de los sensores biomédicos están:

• Sensores químicos.

El desarrollo de fibras ópticas para detectar compuestos químicos es un área novedosa de gran crecimiento. El principio básico de estos dispositivos es la capacidad de las fibras para transmitir luz a grandes distancias, con poca pérdida de potencia y la interacción de la luz con el objeto en estudio. La detección óptica de compuestos químicos se basa en la interacción de estas entidades con la luz. Cuando la luz golpea una sustancia, una variedad de interacciones pueden ocurrir entre los fotones de la radiación electromagnética y los átomos y moléculas de la sustancia. Estas interacciones involucran un intercambio de energía y puede provocar la absorción, transmisión, emisión, dispersión o reflexión de la luz. La naturaleza cuantificada de esta transferencia de energía, produce información sobre la composición del sistema y constituye la base del método espectroscópico de análisis químico. Estos sensores tienen una gran especificidad como consecuencia de la incorporación del sistema de transducción química. Como se mencionó anteriormente, el INAOE ya cuenta con un Laboratorio de Fibras Ópticas, donde se aplican las fibras como sensores.

• Sensores electromecánicos.

Los sistemas nanoelectromecánicos (NEMS), son dispositivos que pueden contener elementos mecánicos, electromagnéticos, ópticos, térmicos y de fluidos con al menos una dimensión del orden de nanómetros. Los NEMS, generalmente tienen partes activas que consisten de vigas empotradas en un extremo o vigas doblemente empotradas en la escala de nanómetros.

Estas partes activas pueden estar formadas por materiales como: silicio, carburo de silicio, platino, oro y nanotubos de carbono. Los NEMS y la nanoelectrónica serán la base fundamental para que en un futuro se desarrollen nanomáquinas integradas conocidas como nanorobots. El desarrollo de los nanorobots es un campo emergente que se encuentra en un proceso exhaustivo de investigación.



La simulación computacional de los *nanorobots*, es una herramienta clave para la exploración de alternativas en la organización, configuración, planeación de movimiento y control de los nanorobots en el cuerpo humano. Ya se han desarrollado trabajos sobre una innovadora arquitectura de hardware y simulación de nanorobots médicos usando la nanobioelectrónica, datos clínicos y tecnologías inalámbricas para cirugías de cáncer, además como una herramienta de diagnóstico e instrumentación de aneurismas cerebrales, así como en la detección de la influenza dentro del cuerpo humano, basado sobre patrones de flujo de sangre y señales proteínicas, liberación de fármacos e identificación de objetivos médicos.

Otra aplicación de lo Microsistemas (MEMS), es el de ser utilizados en una amplia gama de dispositivos semiconductores, sensores y actuadores. El Laboratorio de Innovación en Microsistemas (LI-MEMS) del INAOE, al igual que otros LI-MEMS tiene como objetivo el desarrollo de prototipos para sus aplicaciones en biosensores. Es importante mencionar que este laboratorio pertenece a la Red Nacional de MEMS, la cual se compone de 25 instituciones académicas.

• **Microelectrodos.**

Los microelectrodos se emplean en el estudio de la actividad eléctrica de células individuales. Este tipo de electrodos es suficientemente pequeño con respecto al tamaño de la célula en la que será insertado, de tal forma que dicha implantación no dañe la célula. El tamaño de un microelectrodo intracelular es determinado por el tamaño de la célula y la capacidad de la membrana celular para tolerar la inserción del microelectrodo. Las células raramente superan los 0.5 mm (500 micras) y usualmente tienen una décima parte de este tamaño. Los microelectrodos comunes tienen una punta de dimensiones entre los 0.5 a 5 micras. Las puntas de estos electrodos tienen la suficiente fuerza para introducirse a través de las capas de tejidos sin romperlos. Existen dos tipos de microelectrodos: metálicos y microcapilares de vidrio. Los electrodos metálicos están compuestos por una aguja de punta fina de un metal adecuado, estos electrodos se utilizan en contacto directo con el tejido biológico y, por lo tanto, tienen una menor resistencia, sin embargo, polarizan con corrientes de entrada de amplificador más pequeñas, por lo que, tienden a desarrollar potenciales de desplazamiento de electrodos inestables y, por lo tanto, no son preferidos para las mediciones de potenciales de desplazamiento de electrodos inestables. Los microelectrodos de vidrio se extraen del vidrio Pyrex de grado especial. Estos microcapilares se llenan generalmente con un electrolito.

Para obtener una estabilidad mejorada eligiendo apropiadamente el metal y el electrolito para que la pequeña corriente que pasa a través de su unión no pueda modificar tiene una capacidad sustancial de carga de corriente debido a la gran superficie de contacto entre el metal y el electrolito.

En el Centro de Diseño de MEMS se desarrollan también microcomponentes electrónicos.

• **Narices electrónicas.**

La nariz electrónica se define como un instrumento dotado de sensores químicos y de un programa quimiométrico de reconocimiento de modelos, que es capaz de reconocer y comparar olores individuales o complejos. Al igual que el sistema olfativo humano, su objetivo es relacionar el aroma que se percibe con una respuesta que tras ser almacenada en la memoria, servirá como modelo de posteriores análisis.



Todos los sistemas de nariz electrónica que existen actualmente en el mercado constan de tres partes: la toma de muestra, conjunto de sensores y sistema de tratamiento de datos. La diferencia fundamental entre los sistemas de olfato electrónico reside en la tipología de los sensores empleados, pero sea cual sea el tipo de sensor empleado, se tratará de sistemas multisensor con lo que la respuesta será una matriz de datos multidimensional que las herramientas quimiométricas (análisis de agrupaciones, técnicas de clasificación, redes neuronales, análisis de componentes principales, entre otras) se encargarán de transformar en información analítica de utilidad.}

2.3 Estado del arte y viabilidad del programa

El programa de Doctorado propuesto por el INAOE, desde sus inicios será altamente competitivo y viable dado que cuenta con un claustro de profesores con una amplia experiencia docente fundamentalmente basada en sus progresivas capacidades de investigación soportadas por la Infraestructura de los laboratorios especializados institucionales equipados con tecnología de punta.

El INAOE es uno de los Centros CONACYT más antiguos y consolidados, que cuenta con una planta académica de excelencia en las áreas de Astrofísica, Óptica, Electrónica, Ciencias Computacionales, así como Ciencia y Tecnología del Espacio. Los investigadores adscritos al núcleo básico del programa propuesto forman parte de estas áreas y cuentan con la experiencia y conocimientos sólidos y necesarios para cumplir con los objetivos del programa – ver sección VII: Personal Académico.

El INAOE tiene una sólida infraestructura, cuenta con los laboratorios de investigación y de servicios de avanzada para adquirir conocimientos avanzados y desarrollar investigación de frontera como medios para cumplir con los objetivos del posgrado.

Podemos enfatizar que el INAOE posee todas las herramientas humanas y la infraestructura organizacional y física requerida para consolidar este programa de enseñanza e investigación propuesto en un corto tiempo.

2.4. Tendencias del mercado laboral.

Las oportunidades laborales para innovadores y desarrolladores de los dispositivos y sistemas requeridos por la vasta y creciente comunidad biomédica es inagotable, debido a que pueden desarrollar su ejercicio profesional en complejos hospitalarios, centros ortopédicos, centros de rehabilitación, laboratorios de análisis y cualquier empresa que ofrezca servicios de medición, procesamiento, control y transmisión de información relacionada con bioseñales y signos vitales del cuerpo humano. También, se puede encontrar un campo de acción en centros de investigación y empresas de desarrollo de herramientas y sistemas de alta tecnología biomédica. Asimismo, dentro de las Instituciones de Educación Superior existe una fuerte demanda de profesores altamente especializados en el desarrollo de los sistemas y de la instrumentación biomédica, para cubrir plazas en los programas a nivel licenciatura y posgrado que ya existen y se están creando en este campo.



2.5. Análisis de las políticas educativas y la ubicación del proyecto en la planeación institucional.

Desde su creación, el INAOE tiene como uno de sus objetivos principales el preparar investigadores, profesores, expertos y técnicos altamente capacitados en astrofísica, óptica, electrónica, ciencias computacionales, ciencia y tecnología del espacio, así como áreas afines. También orienta sus actividades hacia la solución de problemas fundamentales del país. En este sentido, la creación del posgrado y, en este caso, en particular el Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas es una propuesta muy pertinente dado que no existe un programa en el país que cubra de manera similar las líneas de conocimiento propuestas. De igual manera ampliaría las oportunidades de adquisición de conocimientos para los egresados en alguna licenciatura y maestría en ingeniería biomédica, ingeniería biónica, ingeniería en sistemas biomédicos, ingeniería electrónica biomédica, ingeniería biomecánica, entre otras.

2.6. Vinculación instituto-sociedad.

La vinculación académica siempre se ha dado de una manera decidida en todos los programas del INAOE. Se tienen lazos de colaboración muy estrechos con distintas IES en México y el extranjero; aproximadamente el 15% del total de estudiantes de posgrado se encuentran realizando una estancia de investigación. Asimismo, se reciben continuamente investigadores y estudiantes nacionales e internacionales para realizar estancias de investigación en el INAOE. También se tienen proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico en una gran diversidad de áreas financiados externamente, los cuales proporcionan ingresos extraordinarios para el buen funcionamiento de todos los programas de posgrado. Desde hace varios años el INAOE ha mantenido algunos proyectos con la Secretaría de la Marina Armada de México, realizando proyectos para la seguridad nacional. Adicionalmente se cuenta con proyectos financiados por PEMEX, CFE, Gobiernos de los Estados y empresas privadas.

III. Definición del Perfil Profesional

3.1. Misión.

El INAOE, como Centro Público de Investigación contribuirá al desarrollo científico y tecnológico del país mediante la formación de investigadores de alto nivel, capaces de adquirir, generar y aplicar conocimientos en el área de Ciencias y Tecnología Biomédica, específicamente en los campos de: Biofotónica y Óptica Biomédica, Procesamiento de Imágenes y Señales y Visualización, Sensores para Aplicaciones Biomédicas e Instrumentación Biomédica, enfocándose en las áreas de rehabilitación. Estos recursos humanos deberán contribuir al desarrollo de los sectores social, educativo, productivo y de salud en la región y en el país.

3.2. Visión.

El Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas, será reconocido nacional e internacionalmente de forma permanente como un programa de posgrado líder en la innovación y generación de conocimiento científico y tecnológico en el área de Ciencia y Tecnología Biomédica.



3.3. Objetivos y metas

El objetivo principal es:

Preparar doctores en ciencias con un profundo dominio teórico y práctico en la instrumentación, el procesamiento de señales y en particular de las bioseñales, y los procesos computacionales requeridos para su funcionamiento automatizado y autónomo y con suficiente madurez científica que aproveche la capacidad para enfrentar y resolver problemas científicos, generando independencia para la solución de problemas y el desarrollo de herramientas altamente tecnificadas para las áreas biomédicas e industrias relacionadas, utilizando para ello el estado del arte de los sistemas de computo, la instrumentación y procesamiento de señales, complementado por el conocimiento biomédico de punta.

Los principales objetivos de este programa son:

- a) Preparar investigadores capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos relevantes en las áreas de las Ciencias y Tecnologías Biomédicas, con énfasis en los campos de: Biofotónica y Óptica Biomédica, Procesamiento de Imágenes y Señales, Sensores para Aplicaciones Biomédicas e Instrumentación enfocada a la rehabilitación.
- b) Integrar la óptica, electrónica y computación con la medicina, para contribuir a la solución de las necesidades prioritarias del Sector Salud en el país como: disminución de la mortalidad infantil, prevención y detección de la diabetes y enfermedades degenerativas, disminución de la obesidad; prevención, detección y tratamiento de enfermedades renales y cáncer.
- c) Formar investigadores-profesores profesionales de alto nivel para la mejor difusión y enseñanza de las Ciencias y Tecnologías Biomédicas en los campos de competencia de las líneas de investigación y áreas afines, que son necesarios para el desarrollo económico y tecnológico del país.
- d) Formar profesionales e investigadores capaces de diseñar y construir sistemas computacionales y dispositivos de instrumentación médica de acuerdo a las normas, estándares nacionales e internacionales, con la capacidad de adaptar y/o innovar equipos eléctricos o electrónicos con base en nuevas tecnologías para propósitos clínicos y de investigación.
- e) Formar especialistas que participen en grupos internacionales especializados en las áreas de competencia como protagonistas y en la toma de decisiones importantes para el desarrollo del sector público, privado y académico del país.



Las metas del programa son:

- a) Proporcionar conocimientos sólidos en las distintas líneas de investigación del programa: Biofotónica y Óptica Biomédica, Procesamiento de Imágenes y Señales, Sensores para Aplicaciones Biomédicas e Instrumentación Biomédica para rehabilitación.
- b) Inculcar en el estudiante la conveniencia de utilizar el método científico en la resolución de problemas en las áreas de investigación de los sistemas computacionales y las herramientas para la Instrumentación Biomédica.
- c) Incentivar a que los estudiantes adquieran las capacidades para desarrollar e innovar los sistemas inteligentes computacionales y las herramientas de Instrumentación Médica de alta tecnología, para garantizar una atención de salud óptima en situaciones de emergencia, diagnóstico clínico, procedimientos quirúrgicos y hospitalización.
- d) Contribuir en la formación de recursos humanos altamente especializados en ciencias y tecnologías biomédicas.
- e) Colocar al programa como un referente mundial de innovación y desarrollo de sistemas, dispositivos necesarios en el sector biomédico y la preparación de recursos humanos generadores de conocimientos de punta en las aéreas relacionadas con las Ciencias y Tecnologías Biomédicas.
- f) Proporcionar el entorno para que a través de convenios y proyectos conjuntos el estudiante sea capaz de realizar innovaciones.
- g) Colaborar en el desarrollo integral y personal de nuevos estudiantes.

3.4. Perfil de ingreso

El aspirante al programa de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas debe tener una maestría de instituciones reconocidas en las áreas de ciencias exactas, ciencias de la salud o ingenierías, con habilidad para el estudio de la física, las matemáticas, la computación, la electrónica en el entorno de las aéreas biomédicas. Los aspirantes provenientes de ciencias exactas deberán haber hecho su tesis de maestría con temas relacionados con las áreas biomédicas o deberán poder demostrar trabajo académico o de investigación relacionado con estos campos y los provenientes de ciencias biomédicas deberán haber hecho su tesis de maestría con temas relacionados con las ciencias exactas o ingenierías, o deberán poder demostrar trabajo académico o de investigación relacionado con estos campos. Deberán además tener conocimiento del idioma inglés, además de un gran interés en el mejoramiento social, cultural y económico del estado y del país, aunado a la vocación por el trabajo práctico en el laboratorio y en el ecosistema médico.



El candidato deberá tener un grado de Maestría en Ciencias en las áreas mencionadas con un promedio mínimo de 8.0.

El candidato que ingresar a este doctorado debe demostrar claramente vocación y motivación para los estudios de posgrado, y estar altamente preparado en los campos de especialidad del programa. Debe mostrar también tener la capacidad de aplicar el conocimiento adquirido en la solución de problemas puntuales.

3.5. Perfil de egreso

El egresado del programa de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas se caracterizará por su formación multidisciplinaria con sólidos conocimientos en Física e Ingeniería, aplicados a la Biomedicina, que le permitan identificar, diseñar, innovar y proponer alternativas de solución a las necesidades en el área biomédica, instrumentación y apoyo tecnológico en el campo de la medicina humana, con amplias capacidades de investigación y principios éticos. Se espera que el egresado tenga la habilidad de exponer sus ideas en forma clara y concisa, tener el dominio del idioma inglés y la capacidad de trabajar en equipos multidisciplinarios.

Podrá desempeñarse como investigador, diseñador e innovador de nuevos equipos biomédicos, consultor en la gestión y modernización de tecnologías biomédicas, gerente o promotor para las empresas productoras o comercializadoras de equipos médicos, docentes en programas de educación superior y posgrados de áreas afines, asesor de instituciones hospitalarias y laboratorios clínicos para la implantación y supervisión de las normas nacionales e internacionales, de bioseguridad y las que regulan el uso del equipamiento tecnológico biomédico, entre otros.

El alumno egresado del programa de Especialidad en Ciencias y Tecnología Biomédica tendrá, además:

1. Un conocimiento sólido y actualizado de las disciplinas que conforman su plan de estudios.
2. La capacidad de resolver problemas teóricos y experimentales en las áreas de su competencia.
3. Los fundamentos para el desarrollo de herramientas conceptuales y prácticas que le ayuden a obtener un desarrollo profesional pleno y competitivo.
4. La capacidad de trabajar en equipo multi-disciplinario en diversos proyectos científicos y de desarrollo tecnológico relacionados a su especialidad.
5. La capacidad de presentar ideas científicas claras y concisas por escrito; y oralmente en foros académicos y científicos nacionales e internacionales.
6. La capacidad para participar en innovaciones científicas y tecnológicas en las áreas de las ciencias y tecnología biomédica.



7. La capacidad de interlocución para que, derivado de estudios en su área de competencia, pueda incidir en la toma de decisiones de política en materia de salud, educativa, científica y tecnológica.
8. La habilidad de exponer sus ideas en forma clara y concisa en idioma inglés.

3.6. Formas de evaluación

Las formas de evaluación en el Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas son las siguientes:

1. Exámenes parciales y examen final de máximo cuatro cursos (previa autorización del asesor y la academia).
2. Reportes de trabajos de investigación.
3. Prácticas de laboratorio y reportes de las mismas.
4. Realización de simulaciones y reportes de las mismas.
5. Realización de proyectos y presentación o reportes de los mismos.
6. Examen de candidatura con la presentación de una propuesta de tesis a los 18 meses (primera oportunidad) y en caso de ser necesario a los 21 meses la segunda y última oportunidad.
7. Seguimiento de avances de tesis, por medio de la reunión del comité de seguimiento 2 veces por año.

IV. Explicación del Plan de Estudios

El programa de estudios de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas tendrá una duración de 4 años (tres periodos por año), ingresando en **agosto** de acuerdo con la convocatoria abierta.

Para ser aceptado como estudiante de este programa, el aspirante deberá ser aprobado por la academia a través de la presentación de una entrevista realizada por un comité designado por la academia, además de cubrir los requisitos.

Durante el primer periodo el estudiante proveniente de áreas de ciencias exactas y tecnológicas deberá tomar los dos cursos básicos de las áreas biomédicas y los provenientes de ciencias de la salud deberán tomar los dos cursos básicos de ciencias exactas y tecnológicas.

Desde el primer año el estudiante deberá contar con un asesor de tesis especialista en el tema de investigación a desarrollar, que deberá ser un trabajo original e independiente.

El estudiante tiene un plazo de 48 meses para defender y aprobar su proyecto de tesis doctoral ante un jurado experto en el tema de investigación, previamente autorizado por la Academia de Ciencias y Tecnología Biomédica. Salvo casos excepcionales, y previa autorización de la Academia, el plazo se podría ampliar hasta los 54 meses.

Al igual que el resto de los posgrados del INAOE este programa estará regulado por el Reglamento de Posgrado.



V. Estructura del Mapa Curricular

El plan de estudios del Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas, además de los dos cursos básicos interdisciplinarios, no contempla un número de créditos dentro del plan de estudios, pero será el asesor de tesis quien determine los cursos que debe cursar de las materias de la Maestría en Ciencias y Tecnología Biomédica.

En el siguiente cuadro se describe cada una de las etapas de formación dentro del plan de estudios:

1er Año	
Asignaturas	Créditos
2 Cursos Básicos Interdisciplinarios	8 c/u
Cursos Electivos a Sugerencia del Asesor	
Preparación de Propuesta de Tesis	
Preparación y Desarrollo del Proyecto de Tesis	
2do Año	
Presentación de Propuesta de Tesis	
Desarrollo de Proyecto de Tesis	
3er Año	
Desarrollo de Proyecto de Tesis	
4to Año	
Desarrollo y Terminación de la Tesis y Presentación del Examen Doctoral	

Durante el primer año el estudiante cursará:

Dos materias básicas interdisciplinarias y de acuerdo con el criterio del asesor y de la formación del estudiante, éste podrá cursar, si se considera necesario, hasta 4 materias en el primer año. Las materias básicas interdisciplinarias se muestran a continuación:



Materias básicas interdisciplinarias para el primer periodo

Plan A (exactas e ingenierías)	Plan B (ciencias de la salud)
Introducción a las ciencias biológicas (Origen de la vida, célula, etc.)	Matemáticas básicas para ciencias biomédicas (aritmética, álgebra, cálculo, estadística)
Introducción a la ciencia médica (Anatomía descriptiva y por sistemas, fisiología de sistemas)	Física para ciencias de la salud

La elección de las materias dependerá de su área de especialidad y podrá elegir entre las siguientes:

Formación Básica de Biología y Medicina
Fundamentos de Estructura y Funcionamiento Celular
Patología Humana
Introducción a las Ciencias Biológicas
Biofotónica y Óptica Biomédica
Biofotónica
Nanofotónica
Microscopía Óptica
Pinzas Ópticas
Principios de Láseres
Tratamientos Láseres en Medicina
Fotobiología
Óptica Oftalmológica
Procesamiento de Imágenes y Señales Biomédicas



Física de las Imágenes de Resonancia Magnética
Procesamiento de Imágenes Biológicas y Médicas
Computación y Programación
Simulación Molecular y Química Aplicada a la Ingeniería Médica
Procesamiento de Bioseñales e Imágenes Médicas
Resonancia Magnética In-Vivo
Neurociencias
Sistemas Digitales
Cursos de Formación Básica en Temáticas Científicas
Introducción a la Física de la Visión
Análisis de Señales Biomédicas (Matemáticas)
Taller de Electrónica Básica
Metrología
Interacción Radiación y Materia
Herramientas de Software
Cómputo Médico
Introducción a la Instrumentación Óptica
Introducción a la Instrumentación Electrónica

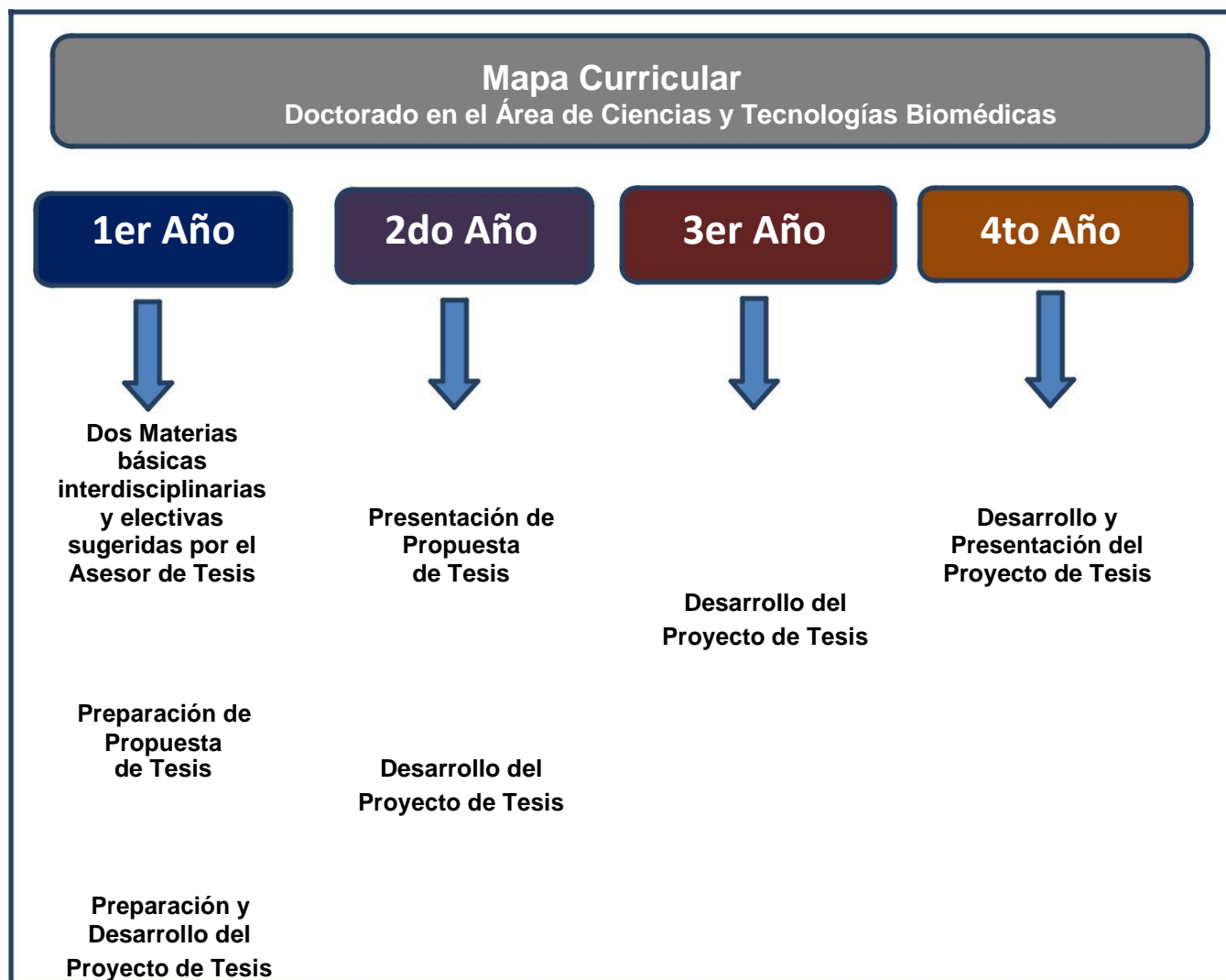


Sensores para Aplicaciones Biomédicas
Laboratorio Clínico de Física Médica
Ingeniería Cardiovascular
Introducción a la Ingeniería Genética
Bioelectromagnetismo
Tecnología y Aplicación de Biomems
Reconocimiento de Patrones
Electrofisiología
Biomateriales
Instrumentación Biomédica
Anatomía Aplicada a la Ingeniería Biomédica
Biomecánica Humana
Fisiología Aplicada en Ingeniería Biomédica
Ingeniería de Rehabilitación
Robótica Médica
Taller de Mantenimiento para Equipo Biomédico
Sistemas y Equipos Biomédicos
Redes
Inteligencia Artificial

Presentación de Propuesta de Tesis: Los estudiantes tienen un plazo de 18 meses para presentar la propuesta de tesis y en caso de no aprobar tienen derecho para presentarlo de nuevo como máximo a los 21 meses.



Preparación del Proyecto de Tesis; el cual deberá ser un trabajo original e independiente.





Para el segundo año los estudiantes continuarán con la preparación y la presentación de la Propuesta de Tesis, así como el desarrollo del proyecto de tesis.

Para el tercer y cuarto año los estudiantes estarán dedicados únicamente al desarrollo del proyecto de tesis.

Al término del último periodo del 4to año el estudiante deberá defender y aprobar su trabajo de tesis ante un jurado previamente nombrado por la Academia correspondiente en examen abierto a toda la comunidad académica.

VI. Implementación del Plan de Estudios

a) Requisitos de ingreso

- Ser titulado de alguna maestría en Ciencias Exactas, Ingenierías o Ciencias de la Salud. Los aspirantes provenientes de ciencias exactas deberán haber hecho su tesis de maestría con temas relacionados con las áreas biomédicas o deberán poder demostrar trabajo académico o de investigación relacionado con estos campos y los provenientes de ciencias biomédicas deberán haber hecho su tesis de maestría con temas relacionados con las ciencias exactas o ingenierías, o deberán poder demostrar trabajo académico o de investigación relacionado con estos campos.
- Tener el compromiso, por escrito, de un investigador de la Academia de Ciencias y Tecnología Biomédica de dirigir la Tesis Doctoral, en un área que sea de competencia del investigador.
- Presentar por escrito una solicitud de admisión y obtener la autorización de la academia. Esta solicitud debe contar con el visto bueno del Director de Tesis propuesto, y debe indicar claramente el campo de trabajo y el título tentativo de la tesis doctoral.
- Presentar y aprobar un Examen General de Conocimientos o de Admisión.
- Demostrar competencia en el idioma inglés (500 puntos TOEFL).

b) Requisitos de permanencia

- Ser estudiante de tiempo completo. Se entiende por esto que el estudiante dedicará el tiempo necesario a sus actividades académicas a manera de que pueda asistir a todas las clases, seminarios y conferencias, así como para realizar sus tareas, y redactar artículos y tesis con la calidad requerida por los programas de postgrado del INAOE, en los tiempos establecidos en este documento.
- Mantener un promedio mínimo de 8.5 en cada período académico.
- Aprobar todas las materias cursadas (previa autorización del asesor de tesis y de la academia).



- Tener al menos una reunión por período académico con su Comité Doctoral.
- Aprobar la propuesta de tesis, dentro de los primeros 18 meses de haber sido aceptado al programa de Doctorado.
- Cumplir con todos los requisitos establecidos por el programa en un período de cuatro años. En casos extraordinarios el Comité Doctoral del estudiante puede recomendar la extensión de este período a la Academia, la cual decidirá finalmente sobre la pertinencia de dicha extensión.

c) Requisitos de egreso

1. Haber obtenido un promedio general de 8.5 (ocho . cinco) durante sus estudios doctorales.
2. Realizar un proyecto de tesis avalado por la Academia, bajo la dirección de un director de tesis.
3. Tener publicados o aceptados al menos dos artículos científicos derivados del trabajo de Tesis Doctoral, en revistas con arbitraje.
4. Demostrar competencia en el idioma inglés (550 puntos en el TOEFL o equivalente).
5. No tener ningún tipo de adeudo con el INAOE.
6. Defender y aprobar su trabajo de tesis ante un jurado previamente nombrado por la Academia correspondiente en examen abierto a la comunidad académica.

d) Límites de tiempo para cursar el plan de estudios

Al igual que el resto de los posgrados del INAOE este programa estará regulado por el Reglamento de Posgrado. El límite es cuatro años y salvo casos excepcionales, previa autorización de la Academia se podrá realizar en cuatro años y medio.

e) Movilidad estudiantil

La vinculación académica siempre se ha dado de una manera decidida en todos los programas del INAOE. Se tienen lazos de colaboración muy estrechos con distintas IES en México y el extranjero; **aproximadamente el 15% del total de estudiantes de posgrado se encuentran realizando una estancia de investigación fuera del país.** Asimismo, se reciben continuamente investigadores de otras IES para realizar estancias de investigación en el INAOE.



También se tienen proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico financiados externamente, que proveen de ingresos extraordinarios a los diversos programas de posgrado. Desde hace varios años el INAOE ha mantenido una serie muy importante de proyectos con la Secretaría de la Marina Armada de México, realizando proyectos para la seguridad nacional. Adicionalmente se cuenta con proyectos financiados con PEMEX, la CFE, Gobiernos de los Estados y empresas privadas.

En congruencia con los lineamientos del decreto de Creación del INAOE, uno de los objetivos del programa de Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas es la formación de recursos humanos de alto nivel y a la solución de problemas nacionales mediante la colaboración entre instituciones de áreas afines. Para el logro de este objetivo, la Dirección General, a través de la Dirección de Formación Académica, asigna un presupuesto anual para apoyar las actividades de movilidad estudiantil (pasajes, viáticos, inscripciones, estancias, etc.)

f) Idioma extranjero

El INAOE ofrece cursos de inglés para que los estudiantes adquieran habilidades en este idioma y pueda realizar actividades como participación en congresos internacionales, redacción de tesis, y estar en posibilidades de ser aceptados en instituciones extranjeras mediante becas mixtas.

Una vez que los alumnos son aceptados, la Dirección de Formación Académica les realiza un examen de ubicación. Dicho examen es evaluado por profesores especialistas en el idioma.

En el siguiente cuadro se describe los cursos de inglés ofrecidos en el Instituto.

Cursos de Inglés
Inglés Básico I
Inglés Básico II
Inglés Intermedio I
Inglés Intermedio II
Inglés Avanzado I
Inglés Avanzado II
Taller de Conversación, Lectura y Redacción
Preparación al TOEFL

Después de que el estudiante concluya con sus estudios, deberá entregar un comprobante de aprobación de 550 puntos TOEFL o equivalente (requisito de egreso).



VII. Factibilidad Académica

La planta docente de este nuevo programa está conformada por investigadores adscritos a las coordinaciones del INAOE. Todos ellos tienen los conocimientos y experiencia necesarios para participar en este programa y cumplir los objetivos del mismo.

La planta docente del posgrado en Ciencias y Tecnología Biomédica estará conformada inicialmente por 15 investigadores del INAOE. En la siguiente tabla se enlista el nombre de los investigadores pertenecientes al núcleo académico básico, el tipo de nombramiento en el INAOE, su nivel en el SNI, así como la coordinación de adscripción. Se listan también los investigadores agrupados por líneas de investigación.

No	Investigador	SNI	Coordinación INAOE
1	Dra. Teresita Spezzia Mazzocco	En proceso	Coordinación de Óptica
2	Dr. José Alejandro Díaz Méndez	I	Coordinación de Electrónica
3	Dr. Luis Enrique Sucar Succar	III	Coordinación de Ciencias Computacionales
4	Dra. Raquel Díaz Hernández	I	Desarrollo Tecnológico
5	Dr. Carlos Gerardo Treviño Palacios	II	Coordinación de Óptica
6	Dra. Hayde Peregrina Barreto	C	Coordinación de Ciencias Computacionales
7	Dr. Edgar Castillo Domínguez	En proceso	Coordinación de Astrofísica
8	Dr. Carlos Alberto Reyes García	II	Coordinación de Ciencias Computacionales
9	Dr. Joel Molina Reyes	I	Coordinación de Electrónica



10	Dr. Felipe Orihuela Espina	I	Coordinación de Ciencias Computacionales
11	Dr. Julio C. Ramírez San Juan	II	Coordinación de Óptica
12	Dr. Rubén Ramos García	III	Coordinación de Óptica
13	Dr. Francisco Renero Carrillo	I	Coordinación de Óptica
14	Dr. Wilfrido Calleja Arriaga	I	Coordinación de Electrónica
15	Dr. Alejandro Díaz Sánchez	II	Coordinación de Electrónica

Áreas	Investigadores	Número de Investigadores
Biofotónica y Óptica Biomédica	Dr. Carlos Gerardo Treviño Palacios Dra. Teresita Spezzia Mazzocco Dr. Francisco Renero Carrillo Dr. Rubén Ramos García Dr. Julio C. Ramírez San Juan	5
Procesamiento de Imágenes y Señales Biomédicas	Dr. Felipe Orihuela Espina Dra. Hayde Peregrina Barreto Dr. Carlos Alberto Reyes García Dra. Raquel Díaz Hernández	4
Sensores Biomédicos	Dr. Edgar Castillo Domínguez Dr. José Alejandro Díaz Méndez Dr. Joel Molina Reyes Dr. Wilfrido Calleja Arriaga Dr. Alejandro Díaz Sánchez	5
Instrumentación Biomédica	Dr. Edgar Castillo Domínguez Dr. Carlos Gerardo Treviño Palacios Dr. Luis Enrique Sucar Succar Dr. José Alejandro Díaz Méndez Dr. Carlos Alberto Reyes García	5



Síntesis curricular de la planta académica.

Dra. Teresita Spezzia Mazzocco

Nivel SNI: Aplicó convocatoria actual

Estudió la Licenciatura de Químico Fármaco Biólogo en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, cursó la Maestría en Biotecnología en el Centro de Investigación en Ciencia Avanzada y Tecnología Aplicada del IPN. Y el Doctorado en el área de Biotecnología del Colegio de Postgraduados. Hizo una estancia doctoral en el Institute of Forest Botany, Section Molecular Wood Biotechnology, en Gottingen, Alemania. Tiene experiencia docente en el departamento de ciencias biológicas de la Universidad de las Américas y de investigación en desarrollos biotecnológicos con empresas privadas. Actualmente está realizando un posdoctorado en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica en el área de Biofotónica.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Teresita Spezzia-Mazzocco*, Susana A. Torres-Hurtado, Julio Cesar Ramírez San-Juan and Rubén Ramos-García. In vitro effect of antimicrobial photodynamic therapy with methylene blue in two different genera of dermatophyte fungi. *Photonics & Lasers in Medicine*. (Received May 27, 2016; revised June 20, 2016; accepted June 21, 2016, previously published online xx, 2016).
- Spezzia Mazzocco Teresita, Ramírez San Juan Julio Cesar, Ramos García Rubén. La terapia fotodinámica, una alternativa a los tratamientos tradicionales. *Saberes y Ciencias, La Jornada de Oriente*. Junio 2016 • número 52 año 5.
- T. Spezzia Mazzocco, R. Ramos-García, J. C. Ramírez-San Juan. La terapia fotodinámica en las infecciones fúngicas. En: *Temas Selectos de Microbiología Médica y Molecular*. Espinosa Taxis Alejandra Paula, Vázquez Cruz Candelario, Sánchez Alonso Patricia, Pérez Munive Clara, Germán Larriba Calle (Eds). 2015. Dirección de Fomento Editorial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. pp 41-46. ISBN 978-607-487-906-6.
- Teresita Spezzia Mazzocco, Josué Abimael Jiménez Castillo, Julio Cesar Ramírez San Juan, Rubén Ramos García. Photodynamic treatment of the dermatophyte *Trichophyton tonsurans*. Primer Congreso Internacional de la Luz Ciencia Y Arte (I-CILCA), del 9 al 13 de noviembre de 2015, Puebla.
- Biofotónica: Ilumina tu salud. Rubén Ramos García, Teresita Spezzia Mazzocco, Julio Cesar Ramírez San Juan. *Biofotónica. Revista Ciencia. UNAM* (En proceso).

Dr. José Alejandro Díaz Méndez

Nivel SNI: I

Obtuvo su Doctorado en Ciencias en Electrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Ha trabajado en la Sección de Posgrado e Investigación del IPN, es Presidente del Capítulo Puebla de Ingeniería en Medicina y Biología de IEEE, Coordinador del grupo de Interés Especial en Tecnología Humanitaria (SIGHT) del Consejo México de IEEE. Actualmente es Investigador Titular "B" de la Coordinación de Electrónica del INAOE.



Publicaciones más recientes/relevantes:

- López-Delgadillo, E., Díaz-Méndez, J. A., García-Andrade, M. A., Vázquez-Medina, R., & Gurrola-Navarro, M. A. Automatic On-Die Impedance Matching in Current Mode Off-Chip Signaling. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2014, pp. 1-18, DOI 10.1007/s00034-014-9821-6.
- Adrian E. Rendon-Nava, J. Alejandro Díaz-Méndez, Luis Nino-de-Rivera, Wilfrido Calleja-Arriaga, Felix Gil-Carrasco, and Daniela Díaz-Alonso, Study of the Effect of Distance and Misalignment between Magnetically Coupled Coils for Wireless Power Transfer in Intraocular Pressure Measurement, *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1-11, doi/10.1155/2014/692434
- Emmanuel Gómez Ramírez, José Alejandro Díaz Méndez, Mariano Aceves Mijares, José Miguel Rocha Pérez, Jorge Miguel Pedraza Chávez, Carlos Domínguez Horna and Ángel Merlos, CMOS Readout Circuit with Wide Dynamic Range for an UV-NIR Silicon Sensor, *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, vol 7 no 1 & 2, year 2014, pp. 23-33
- Ricardo Francisco Martínez-Gonzalez and Jose Alejandro Diaz-Mendez, Implementation of a stream cipher based on bernoulli's map, *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)* Vol 6, No 6, December 2014, DOI:10.5121/ijcsit.2014.6608
- Ricardo F. Martínez-Gonzalez, J. Alejandro Diaz-Mendez, Ruben Vazquez-Medina, VHDL implementation for a pseudo random number generator based on tent map, *Computational and Applied Mathematics* 2015; 1(1): 12-15 Published online January 20, 2015
- D. A. Blanco and J. A. Díaz-Méndez, pain assessment in healthy and noncommunicative patients: a review, *Canadian International Journal of Science and Technology*, vol. 1, January 2015, pp 155-161
- Edgar López-Delgadillo, José A. Díaz-Méndez, Marco A. Gurrola-Navarro, Miguel A. García-Andrade, Rubén Vázquez-Medina, A digitally programmable active resistor in CMOS technology, *IEICE Electronics Express*, Vol. 12 (2015) No. 8, April 25, 2015. <http://doi.org/10.1587/elex.12.20150247>
- B. P. Guzmán-Velázquez, J. Cabrera-Cordero, J. A. Díaz-Méndez & J. Conde-Camacho, Fuzzy Control of Drug Infusion for Heart Failures, *Canadian International Journal of Science and Technology*, vol. 2, May 2015, pp 250-257
- Diaz Mendez, D. Blanco and P. Guzman Velazquez, "Ethical Considerations for Pain Detection in Non-Communicative Patients," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 3, pp. 1135-1138, March 2016
- H. I. Morales-López, A. Díaz Méndez, J.C. Sánchez, Early cataract Detection Using the Hough Transform: A proposal., *IEEE Argencon 2016*, Buenos Aires, Argentina, 14-17 junio 2016.

Dr. Luis Enrique Sucar Succar

Nivel SNI: III

Luis Enrique Sucar es Doctor en Computación por el Imperial College, Londres, Inglaterra; Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Stanford, CA, EUA; e Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por el ITESM, Monterrey.



Tiene experiencia como investigador y profesor en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, el Tecnológico de Monterrey, y el INAOE. El Dr. Sucar es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel III, de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia de Ingeniería. Es *Senior Member* de la IEEE y es Editor Asociado de las revistas Computational Intelligence, Inteligencia Artificial, y Computación y Sistemas. Tiene más de 250 publicaciones en revistas, libros y conferencias, y ha dirigido más de 70 tesis de licenciatura, maestría y doctorado, y cuenta con dos patentes. Su investigación se centra en inteligencia artificial, principalmente en el desarrollo de modelos gráficos probabilistas y su aplicación en visión computacional, robótica, sistemas tutores inteligentes y biomedicina. En el ámbito de desarrollo tecnológico ha participado en diversos proyectos en aplicaciones médicas e industriales, incluyendo el desarrollo de un endoscopio semiautomático, el desarrollo de un sistema de apoyo a la rehabilitación para personas que han sufrido embolias cerebrales, entre otros.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Jesús J. Rivas, Patrick Heyer, Felipe Orihuela-Espina and Luis Enrique Sucar, "Towards incorporating affective computing to virtual rehabilitation; surrogating attributed attention from posture for boosting therapy adaptation", 10th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis, edited by Eduardo Romero, Natasha Lepore, Proc. of SPIE Vol. 9287, 2015
- Luis Enrique Sucar, Felipe Orihuela-Espina, Roger Luis Velazquez, David J. Reinkensmeyer, Ronald Leder, and Jorge Hernández-Franco. "Gesture Therapy: An upper limb virtual reality-based motor rehabilitation platform". IEEE in Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. Vol. 22, No. 13, Mayo 2014, pp. 634-643.
- Felipe Orihuela-Espina, Luis Enrique Sucar, et al., "Neural reorganization accompanying upper limb motor rehabilitation from stroke with virtual realitybased Gesture Therapy", Topics in Stroke Rehabilitation, Volume 20, Number 3 / May-June 2013, pp.197-209.
- L. E. Sucar, R. Luis, R. Leder, J. Hernández, I. Sánchez, "Gesture Therapy: A Vision-Based System for Upper Extremity Stroke Rehabilitation", Proceedings Inter. Conf. IEEE EMBS, pp. 3690-3693, September 2010.
- L. E. Sucar, R. Leder, J. Hernández, I. Sánchez, and G. Azcárate, "Clinical Evaluation of a Low-Cost Alternative for Stroke Rehabilitation", IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), pp. 863-866, 2009.
- L.E. Sucar, G. Azcárate, R. Leder, D. Reinkensmeyer, J. Hernández, I. Sánchez, P. Saucedo, "Gesture Therapy: A vision-based system for arm rehabilitation after stroke", in A. Fred, J. Filipe, H. Gamboa (Eds.). Biomedical Engineering Systems and Technology, Springer-Verlag, pp. 531-540, 2008.

Dra. Raquel Díaz Hernández

Nivel SNI: I

Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Astrofísicas en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) en el 2005. Realizó dos estancias posdoctorales en el Instituto de Astronomía de la UNAM (IA-UNAM). Su formación cubre el perfil de la Instrumentación Astronómica, especializándose en el Análisis de Imágenes (AI).



Dicho conocimiento le ha permitido aplicar las técnicas aprendidas, además de la astronomía, en áreas como la Medicina y la Geología, en especial estudios geológicos de meteoritos. En Astronomía ha encaminado sus esfuerzos a la digitalización, análisis, preservación y difusión del contenido de las imágenes provenientes de las placas fotográficas tomadas con la Cámara Schmidt de Tonantzintla, Puebla. En una línea paralela participó en el proyecto HAWC (High-Altitude Water Cherenkov Observatory), analizando los resultados de las cascadas de altas energías generadas por los muones que registra el telescopio HAWC. Adicionalmente, ha realizado algoritmos para la clasificación automática de imágenes provenientes de células con leucemia y microcalcificaciones en mastografías. Actualmente labora en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- C Reta, L Altamirano, JA Gonzalez, R Diaz-Hernandez, H Peregrina, Ivan Olmos, Jose E Alonso, Ruben Lobato. Segmentation and Classification of Bone Marrow Cells Images Using Contextual Information for Medical Diagnosis of Acute Leukemias. PloS one 10 (6), e0130805. 2015.
- GA Rodriguez, JA Gonzalez, L Altamirano, JS Guichard, R Diaz. Microcalcifications detection using Fisher’s linear discriminant and breast density. Software Tools and Algorithms for Biological Systems, 451-459. 2011.
- C Reta, JA Gonzalez, R Diaz, JS Guichard. Leukocytes segmentation using Markov random fields. Software Tools and Algorithms for Biological Systems, 345-353. 2011.
- GA Rodriguez, JA Gonzalez, L Altamirano, JS Guichard, R Diaz. A Supervised Method for Microcalcifications Detection using Breast Density. Twenty-Third International FLAIRS Conference. 2010.
- C Reta, L Altamirano, JA Gonzalez, R Diaz, JS Guichard. Segmentation of bone marrow cell images for morphological classification of acute leukemia. Proceedings of the Twenty-Third International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS. 2010.

Dr. Carlos Gerardo Treviño Palacios

Nivel SNI: II

Terminó la carrera de Física en la UNAM en 1990, donde desarrolló en el laboratorio de Óptica Aplicada del CI-UNAM un acoplador láser-fibra óptica para aplicaciones médicas. Cursó la Maestría en Óptica en el CIO en León Gto. (1990-1992) bajo la supervisión del Prof. Daniel Malacara en problemas de interferometría de Fourier usando técnicas de procesamiento digital de imágenes.

De 1993 a 1998 realizó estudios de doctorado en el CREOL, en Orlando Florida, EUA, bajo la supervisión del Prof. George Stegeman, uno de los líderes mundiales en guías de onda no lineales, en ese tiempo adquirió experiencia en laboratorios de clase mundial y muy diversas técnicas de medición no lineal usando casi todo tipo de láseres. Desde 1998 se incorporó al INAOE como Investigador estableciendo un laboratorio de caracterización no lineal e instrumentación usando láseres.



Actualmente trabaja en el desarrollo de instrumentación médica para el INNN (Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía) financiado por el CONACYT. Su tesis doctoral fue merecedora de una mención honorífica en el "Premio IIM-UNAM Certamen Nacional Mejor Tesis Doctoral 2000" del Instituto de Investigación en Materiales, UNAM, ha sido distinguido como miembro del SNI (Sistema Nacional de Investigadores) desde 1999 y miembro de la AMC (Academia Mexicana de Ciencias) desde 2007.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Gaudencio Paz-Martínez, Jesus Garduño-Mejía, Oleg V. Kolokoltsev, Carlos G. Treviño-Palacios, Naser Qureshi "Focus and Alignment Tolerance in a Photoconductive Terahertz Source," J Infrared Milli Terahz Waves 36 (2015) 830–837 doi 10.1007/s10762-015-0185- "Unfolding Phase Unwrapping" Carlos G Treviño-Palacios Opt Eng 54 1 (2015) 110503.
- C.G. Treviño-Palacios, "Status and opportunities for future use of terahertz radiation for clinical applications," Photonics & Lasers in Medicine 5 1 (2016) 15-20.
- Oleg Kolokoltsev, Iván Gómez-Arista, C. G. Treviño-Palacios, N. Quresh, E.V. Mejia-Uriarte, "Swept Source OCT Beyond the Coherence Length Limit" Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 22 3 (2016) 6803806.
- Karla J. Sánchez-Pérez, Carlos G. Treviño-Palacios, Enrique Sucar Succar and Felipe Orihuela-Espina, "Developing device for monitoring brain activity using fNIRS," Proceedings Mexican Optics and Photonics Meeting MOPM-2013 (2013) P79.
- Karla J. Sánchez-Pérez, Javier Herrera-Vega, Enrique Sucar-Succar, Felipe Orihuela-Espina and Carlos G. Treviño-Palacios, "Developing a device for monitoring O2 saturation in blood," AIP Conf. Proc. 1626 (2014) 201-204.

Dra. Hayde Peregrina Barreto

Nivel SNI: C

Obtuvo su Doctorado en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Querétaro. Ha trabajado en la Universidad Autónoma de Querétaro, Universidad de Guanajuato, Universidad Politécnica de Puebla y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente es Investigador Titular A en la Coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- D. Hernandez-Contreras, H. Peregrina-Barreto, J. Rangel-Magdaleno, J. Ramirez-Cortes, F. Renero-Carrillo (2015). Automatic Classification of Thermal Patterns in Diabetic Foot based on Morphological Pattern Spectrum, Infrared Physics & Technology, 73, 149-157 (Q2 JCR)
- Reta, C., Altamirano, L., Gonzalez, J. A., Diaz-Hernandez, R., Peregrina, H., Olmos, I., Alonso, J., & Lobato, R (2015). Segmentation and Classification of Bone Marrow Cells Images Using Contextual Information for Medical Diagnosis of Acute Leukemias. PloS one, 10(6), e0130805. (Q1 JCR)



- Arias-Cruz, J. A., Perez-Corona, C. E., Peregrina-Barreto, H., Ramos-Garcia, R., & Ramirez-San-Juan, J. C. (2015, August). Visualization of deep blood vessels in speckle imaging using homogeneity measurement of the co-occurrence matrix. In SPECKLE 2015: VI International Conference on Speckle Metrology (pp. 96601O-96601O). International Society for Optics and Photonics.
- Hernandez-Contreras, D., Peregrina-Barreto, H., Rangel-Magdaleno, J., Ramirez-Cortes, J., Renero-Carrillo, F., & Avina-Cervantes, G. (2015, May). Evaluation of thermal patterns and distribution applied to the study of diabetic foot. In Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2015 IEEE International (pp. 482-487).
- Peregrina-Barreto, H., Morales-Hernandez, L. A., Rangel-Magdaleno, J. J., Avina-Cervantes, J. G., Ramirez-Cortes, J. M., & Morales-Caporal, R. (2014). Quantitative estimation of temperature variations in plantar angiosomes: a study case for diabetic foot. Computational and mathematical methods in medicine, 2014. (Q4 JCR).
- Herrera-Navarro, A. M., Terol-Villalobos, I. R., Jiménez-Hernández, H. Peregrina-Barreto, H., & Gonzalez-Barboza, J. J. (2014). Detection and Measurement of the Intracellular Calcium Variation in Follicular Cells. Computational and mathematical methods in medicine, 2014. (Q4 JCR)

Dr. Edgar Castillo Domínguez

Nivel SNI: Aplicó a la convocatoria vigente

Es egresado de la licenciatura en ingeniería electrónica por el Instituto Tecnológico de Minatitlán. Tiene Maestría y Doctorado en Ciencias en Instrumentación Astronómica por el INAOE. Realizó una estancia postdoctoral en la Universidad de Cariff, Reino Unido y actualmente se encuentra adscrito a la Coordinación de Astrofísica como Catedrático CONACYT, desarrollando los instrumentos de segunda generación del Gran Telescopio Milimétrico tanto en modo continuo como espectral, además es encargado del equipo de interferometría de base muy larga del proyecto "Event Horizon Telescope". Ha participado en proyectos instrumentales, entre ellos, MEGARA (espectrógrafo multi objetos y unidad de campo integral para el Gran Telescopio de Canarias, próximo a su instalación), La Sonda Cosmológica de las Islas para la detección de Hidrógeno Neutro y el Espectrómetro de Transformada de Fourier para Imágenes que está próximo a iniciar su construcción. También ha participado en 16 publicaciones tanto instrumentales como de la aplicación de los instrumentos. Sus intereses se centran tanto en el desarrollo de sistemas de instrumentación como en la física de los detectores que se emplean en tales sistemas, especialmente para radiación electromagnética.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Velázquez, M., Ferrusca, D., Castillo-Dominguez, E., Ibarra-Medel, E., Ventura, S., Gómez-Rivera, V., Hughes, D., Aretxaga, I., Grant, W., Doyle, S., Mauskopf, P. (2016). Journal of Low Temperature Physics, "Design of a and Photonics 2-mm Wavelength KIDs Prototype Camera for the Large Millimeter Telescope".
- E. Castillo-Domínguez, J.L. Avilés, E. Carrasco, M. Maldonado, A. Gil de Paz, J. Gallego; MEGARA main optics opto-mechanics; Submitted to Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy V. Proceedings of the SPIE, (2014).



- Mauskopf, P. D.; Doyle, S.; Barry, P.; Rowe, S.; Bidead, A.; Ade, P. A. R.; Tucker, C.; Castillo, E.; Monfardini, A.; Goupy, J.; Calvo, M. (2014). Journal of Low Temperature Physics, "Photon-Noise Limited Performance in Aluminum LEKIDs".
- Castillo-Domínguez, E.; Ferrusca, D.; Tulloch, S.; Velázquez, M.; Carrasco, E.; Gallego, J.; Gil de Paz, A.; Sánchez, F. M.; Vilchez Medina, J. M.; Cryostat and CCD for MEGARA at GTC; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV. Proceedings of the SPIE, Volume 8446, article id. 84465Y, 10 pp. (2012)
- Orduña-Díaz, A.; Castillo-Domínguez, E.; Torres-Jacome, A.; De la Hidalga-Wade, F. J.; Treviño-Palacios, C. G.; Design and fabrication of a bidimensional microbolometer array for Terahertz detection characterized at different temperatures; Journal of Physics: Conference Series, Volume 274, Issue 1, article id. 012112, 5 pp. (2011).
- Ferrusca, D.; Castillo-Domínguez, E.; Velázquez, M.; Hughes, D. Serrano, A.; Torres-Jacome, A.; Far IR Transmission Characteristics of Silicon Nitride Films using Fourier Transform Spectroscopy; AIP Conference Proceedings, Volume 1185, pp. 330-333 (2009).
- Castillo, E.; Serrano, A.; Torres-Jacome, A.; Bolometric Arrays for Millimeter Wavelengths; Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias) Vol. 37, pp. 152-155 (2009)

Dr. Carlos Alberto Reyes García

Nivel SNI: II

Es Doctor en Ciencias de la Computación con especialidad en inteligencia artificial de Florida State University en Tallahassee, Florida. Tiene el master en ciencias de la computación y el master en gerencia de la ingeniería por el Florida Institute of Technology en Melbourne, Florida, es Ingeniero Industrial en Producción del Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Realizó un posdoctorado como profesor-investigador visitante en el Istituto Internazionale per gli Alti Studi Scientifici (IIASSE. R. Caianiello) en Vietri sul Mare, Italia. Trabaja en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica desde enero 2001 donde actualmente es Investigador Titular C. Es Investigador Nacional Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Fue Presidente de la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA). Es el editor fundador y fue editor en jefe de la revista de inteligencia artificial Komputer Sapiens. Sus áreas de interés particular en investigación son; Inteligencia Computacional, Procesamiento y Clasificación de Bioseñales, Reconocimiento de Habla y de Hablantes por Computadora, Reconocimiento de Llanto de Bebé, y Clasificación de Patrones en General. Ha sido director de 10 tesis de licenciatura, 21 de maestría y 7 tesis doctorales. Ha publicado más de 160 artículos en revistas científicas y memorias de congresos nacionales e internacionales, 18 capítulos de libros y editado 16 libros.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- E.F. González Castañeda, A.A. Torres-García, C.A. Reyes-García, L. Villaseñor-Pineda, "Aplicación de la Sonificación de Señales Cerebrales en Clasificación Automática," en Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, volumen 36, número 3, Sep-Dic, 2015, pp 233-237, URL, ISSN 0188-9532.



- Silvia Orlandi, Carlos Alberto Reyes Garcia, Andrea Bandini, Gianpaolo Donzelli, and Claudia Manfredi, "Application of Pattern Recognition Techniques to the Classification of Full-Term and Preterm Infant Cry," en Journal of Voice, Ed. Elsevier, Vol. -, No. -, pp. 1-8, Available online 23 October 2015, doi:10.1016/j.jvoice.2015.08.007.
- Hugo Jair Escalante, Maribel Marin-Castro, Alicia Morales-Reyes, Mario Graff, Alejandro Rosales-Perez, Manuel Montes-y-Gomez, Carlos A. Reyes, Jesus A. Gonzalez, "MOPG: A Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Prototype Generation," in Pattern Analysis and Applications, Ed. Springer, DOI 10.1007/s10044-015-0454-6, Published online: 06 Feb. 2015, pp 1-15,
- Israel Cruz-Vega, Hugo Jair Escalante, Carlos A. Reyes, Jesus A. Gonzalez, Alejandro Rosales-Pérez, "Surrogate modeling based on an adaptive network and granular computing," in Soft Computing, available online: February 7, 2015, (Impact factor: 1.304 - JCR).
- Alejandro Rosales-Pérez, Jesus A. Gonzalez, Carlos A. Coello Coello, Hugo Jair Escalante, Carlos A. Reyes-Garcia, "Surrogate-Assisted Multi-Objective Model Selection for Support Vector Machines," in Journal Neurocomputing of editorial Elsevier, Vol. 150, pp 163-172, (2015), (Impact factor: 2.005 -JCR), ISSN: 0925-2312.
- Alejandro Rosales-Pérez, Carlos Alberto Reyes Garcia, Jesus A. Gonzalez, Orion Reyes-Galaviz, Hugo Jair Escalante, Silvia Orlandi, "Classifying Infant Cry Patterns by the Genetic Selection of a Fuzzy Model, in Biomedical Signal Processing and and Control, Elsevier Ltd., Vol. 17, pp 38--46, 2015 (Impact factor: 1.532 -JCR), ISSN 1746-8094.
- Rosales-Pérez, J. A. González, C. A. Coello Coello, H. J. Escalante, C. A. Reyes-García, "Multi-Objective Model Type Selection", in Journal Neurocomputing of editorial Elsevier, vol. 146, pp 83-94, 2014, URL 0925- 2312/& 2014 Elsevier, ISSN: 0925-2312.
- Alejandro Rosales-Pérez, Jesus A. Gonzalez, Carlos A. Coello Coello, Hugo Jair Escalante, Carlos A. Reyes-Garcia, "Surrogate-Assisted Multi-Objective Model Selection for Support Vector Machines", in Journal Neurocomputing of editorial Elsevier, pp. 163-172, 2014, Electronic Publication, URL 0925-2312/& 2014Elsevier.
- Jorge Morales Cruz, Jesus A. Gonzalez, Carlos A. Reyes, and Leopoldo Altamirano, "Transition Regions Detection based on Evolutionary Region Growing Segmentation", In Intelligent Data Analysis, Volume 18 Issue 2, March 2014, ISSN: 1088-467X, 2014. pp. 305-316.
- Gerardo Rosas-Cholula, Juan Manuel Ramirez-Cortes, Vicente Alarcon-Aquino, Pilar Gomez-Gil, Jesus Rangel-Magdaleno, Carlos A. Reyes-Garcia, "Gyroscope-Driven Mouse Pointer with an EMOTIV ® EEG Headset and Data Analysis Based on Empirical Mode Decomposition," Sensors Open Journal, 2013, 13, pp. 10561-10583; doi:10.3390/s130810561, ISSN 1424-8220.
- Torres-García, C. A. Reyes-García, L. Villaseñor-Pineda, Análisis de Señales Electroencefalográficas para la Clasificación de Habla Imaginada, Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica." Vol. 34, No. 1, Abril 2013. pp. 23-39, ISSN 0188-9532.
- Hugo Jair Escalante, Manuel Montes-y-Gómez, Jesús A. González, Pilar Gómez-Gil, Leopoldo Altamirano, Carlos A. Reyes, Carolina Reta, Alejandro Rosales. "Acute leukemia classification by ensemble particle swarm model selection. Artificial Intelligence in Medicine. Vol. 55(3):163--175, Elsevier, 2012, ISSN: 0933-3657.



- Antonio Verduzco Mendoza, Emilio Arch Tirado, Carlos Alberto Reyes Garcia, Jaime Leybon Ibarra, Juan Licona Bonilla, "Análisis del Llanto en Hipoacúsicos y Alto Riesgo (Crying Analysis in Deafness and High Risk)", in Cirugía y Cirujanos, in Vol 80, No. 1, January-February 2012, pp 3-10, ISSN 0009-7411.
- María A. Ruíz Díaz, Carlos A. Reyes García, Luis C. Altamirano Robles, Jorge E. Xalteno Altamirano, Antonio Verduzco Mendoza, " Automatic Infant Cry Analysis for the Identification of Qualitative Features to Help Oportune Diagnosis", Biomedical Signal Processing and Control, Elsevier Ltd., Electronic Publication, ISSN 1746-8094, Volume 7, Issue 1, January 2012, Pages 43–49, doi: 10.1016/j.bspc.2011.06.011,

Dr. Joel Molina Reyes

Nivel SNI: I

Obtuvo su Doctorado en el Instituto de Tecnología de Tokyo. Escuela de Postgrado Interdisciplinario de Ciencias e Ingeniería. Departamento de Electrónica y Física Aplicada. Tokio, Japón (marzo de 2007). Actualmente es investigador y catedrático en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Sus intereses de investigación incluyen la física y tecnología de lógica dispositivos nanoscalados CMOS, dispositivos de memoria no volátil, sensores de estado sólido, MEMS y el desarrollo de materiales de ultra delgada y alta constante dieléctrica para el uso en lógica, memoria, tecnologías de teleobservación y fotoactivas. Estos temas son dentro del campo de la tecnología de fabricación avanzada de IC.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- D.D. Alonso, M. Moreno, J. Molina, C. Zuniga, W. Calleja, J.C. Cisneros, L.N. De Rivera, V. Ponomaryov, F. Gil, A. Guillen and E. Flores, "Hermetic Capacitive Pressure Sensors for Biomedical Applications", Microelectronics International, Vol. 33 Iss 2, pp. 79 - 86 (2016). DOI: 10.1108/MI-05-2015- 0046.
- R. Thamankar, N. Raghavan, J. Molina, F.M. Puglisi, S.J. O'Shea, K Shubhakar, L. Larcher, P. Pavan, A. Padovani and K.L. Pey, "Single vacancy defect spectroscopy on HfO₂ using Random Telegraph Noise signals from Scanning Tunneling Microscopy", Journal of Applied Physics, Vol. 119, No. 8, 084304 (2016). ISSN: 0021-8979. DOI: 10.1063/1.4941697.
- L.A. Carrillo, G. Espinosa, B.M. Perez and J. Molina, "pH ISFET sensor with PVTA compensation", Electronics Letters, Vol. 52, No.1, pp. 15-17 (2016). ISSN: 0013-5194. DOI: 10.1049/el.2015.2573.
- J. Molina, R. Valderrama, C. Zuniga, P. Rosales, W. Calleja, A. Torres, J. Hidalgo and E. Gutierrez, "Influence of the Surface Roughness of the Bottom Electrode on the Resistive-Switching Characteristics of Al/Al₂O₃/Al and Al/Al₂O₃/W Structures Fabricated on Glass at 300°C", Microelectronics Reliability, Vol. 54, no. 12, pp. 2747-2753 (2014). ISSN: 0026-2714. DOI: 10.1016/j.microrel.2014.07.006.
- S.C. Cejas, R. Torres, R. Valderrama and J. Molina, "Complex Permittivity Determination of Thin-Films Through RF-Measurements of a MIM Capacitor", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 24, no. 11, pp. 805-807 (2014). ISSN: 1531-1309. DOI: 10.1109/LMWC.2014.2348179.
- J. Molina and B.M. Perez, "Study of the Chemical and Morphological Characteristics of Al₂O₃ and HfO₂ Surfaces after Immersion in Time-Dependent pH Solutions", ECS Transactions, Vol. 64, no. 1, pp. 3-9 (2014).DOI: 10.1149/06401.0003ecst.



- B.M. Perez and J. Molina, “Electrochemical Characterization of Ion-Sensitive Capacitors with ALD Al₂O₃ as the Sensitive Dielectric”, ECS Transactions, Vol. 64, no. 1, pp. 239-243 (2014). DOI:10.1149/06401.0239ecst.
- J. Molina, J. Hidalgo and E. Gutierrez, “Reduction in the Interface-States Density of Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors Fabricated on HighIndex Si (114) Surfaces by using an External Magnetic Field”, Journal of Applied Physics, Vol. 116, No. 6, 064510 (2014). ISSN: 0021-8979. DOI: 10.1063/1.4892891.
- W. Calleja, F. Quinones, J. Hidalgo, M. Moreno, J. Molina and C. Zuniga, “Mechanical characterization of polysilicon cantilevers using a thermomechanical test chip fabricated with a combined bulk/surface micromachining technique”, Results in Physics, Vol. 4, pp. 119-120 (2014). ISSN: 2211-3797. DOI: 10.1016/j.rinp.2014.07.007.
- J. Molina, C. Zuniga, E. Gutierrez, E. Mendoza, J.L. Sanchez and E.R. Bandala, “Photovoltaic Activity of Metal-Semiconductor Structures Using Thin Films of Rutile-Phase TiO₂ Nanoparticles”, International Journal On Advances in Systems and Measurements, Vol. 7, No. 1-2, pp. 34-43 (2014). ISSN: 1942-261x
- J. Molina, C. Zuniga, M. Moreno, W. Calleja, P. Rosales, R. Ambrosio, F.J. De La Hidalgo, E. Gutierrez, A. Heredia, E.R. Bandala and J.L. Sanchez, “Physical and electrical characterization of TiO₂ particles after high temperature processing and before/after UV irradiation”, Canadian Journal of Physics, Vol. 92, No. 7- 8, pp. 832-837 (2014). ISSN: 1208-6045. DOI: 10.1139/cjp-2013-0603.
- M. Dominguez, P. Rosales, A. Torres, F. Flores, J. Molina, M. Moreno, J. Luna and A. Orduña, “Planarized Ambipolar a-SiGe:H Thin-Film Transistors: Influence of the sequence of fabrication process”, Solid State Electronics, ol. 99, pp. 45-50 (2014). ISSN: 0038-1101. DOI: 10.1016/j.sse.2014.06.024.
- M. Dominguez, P. Rosales, A. Torres, F. Flores, J. Molina, M. Moreno, J. Luna and A. Orduña, “Effects of germane flow rate in electrical properties of a-SiGe:H films for ambipolar thin-film transistors”, Thin Solid Films, Vol. 562, pp. 260-263 (2014). ISSN: 0040-6090. DOI: 10.1016/j.tsf.2014.04.075.
- J. Molina, R. Valderrama, W. Calleja, P. Rosales, C. Zuniga, E. Gutierrez, J. Hidalgo and A. Torres, “Memristance Effect of Metal-Insulator-Metal Structures using Al₂O₃ Film as Active Layer for Advanced Memory Devices in Back-End-Of-Line Processing”, Surfaces and Vacuum, Vol. 27, No. 1, pp. 1-6 (2014). ISSN: 1665-3521.
- J. Molina, J.L. Sanchez, C. Zuniga, E. Mendoza, R. Cuahtecontzi, G. Garcia, E. Gutierrez and E.R. Bandala, “Low-temperature processing of thin films based on rutile TiO₂ nanoparticles for UV photocatalysis and bacteria inactivation”, Journal of Materials Science, Vol. 49, no. 2, pp. 786-793 (2014). ISSN: 0022-2461. DOI: 10.1007/s10853-013-7761-3.
- J. Molina, C. Zuniga, E. Mendoza, J.L. Sanchez, E. Gutierrez and E.R. Bandala, “Using Thin Films of Rutile-Phase TiO₂ Nanoparticles as Photoactive Material in Metal-Semiconductor Structures with Low Thermal Processing”, Energy and Environment Focus, Vol. 2, no. 4, pp. 299-306 (2013). ISSN: 2326-3059. DOI: 10.1166/eef.2013.1068.
- J. Molina, W. Calleja, P. Rosales, C. Zuniga, F.J. Hidalgo and A. Torres, “Performance of a MOHOS-type Memory using HfO₂ Nanoparticles as Charge Trapping Layer and Different Tunneling Oxide Thickness”, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol. 38, no. 4, pp. 569-572 (2013). ISSN: 1382- 3469.



- E. Guerrero, L.A. Carrillo, M.T. Sanz, J. Molina, N. Medrano and B. Calvo, “Offset and Gain Calibration Circuit for MIM-ISFET Devices”, Analog Integrated Circuits and Signal Processing International Journal, 76:321–333 (2013). ISSN: 0925-1030. DOI: 10.1007/s10470-013-0077-z
- J. Molina, B.M. Perez, C. Zuniga, W. Calleja, P. Rosales and A. Torres, “Chemical and Morphological Characteristics of ALD Al₂O₃ Thin Film Surfaces After Immersion in pH Buffer Solutions”, Journal of the Electrochemical Society, 160 (10) B201-B206 (2013). ISSN: 1945-7111. DOI: 10.1149/2.060310jes.
- J. Molina, C. Zuniga, W. Calleja, P. Rosales, A. Torres and A.H. Gomez, “Physical and electrical characteristics of atomic-layer deposition-HfO₂ films deposited on Si substrates having different silanol Si-OH densities”, Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 31, 01A132 (2013). ISSN: 0734-2101. DOI: 10.1116/1.4769206.

Dr. Felipe Orihuela Espina

Nivel SNI: I

Obtuvo su Doctorado en Ciencias Computacionales por la Universidad de Biemingham en Reino Unido en el año 2005 con una tesis sobre el modelado y verificación de la reflectancia difusa del tejido del fondo ocular. Al finalizar su tesis vino a México y ejerció como profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de México. Se incorporó al Imperial College de Londres como asociado de investigación en 2007, y en 2011 como asociado posdoctoral en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE). Desde 2012, es Investigador Titular en el INAOE e investigador honorario en el Imperial College. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI 1). Es autor de más de 50 publicaciones arbitradas de texto completo incluyendo 30 artículos en revista JCR. Sus intereses de investigación incluyen diferentes aspectos de la interpretación de neuro imágenes, principalmente de fNIRS.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Avilés, Héctor; Luis, Roger; Oropeza, Juan; Orihuela-Espina, Felipe; Leder, Ronald; Hernández, Jorge and Sucar, Enrique. “Gesture Therapy Adapting the rehabilitation therapy to the patient progress” En Proceedings de Probabilistic Problem Solving in Biomedicine Workshop en 13th Conference on Artificial Intelligence in Medicine (AIME’11) pp. 3-14, JUL 2-6, 2011, Bled, Eslovenia
- James, David R. C.; Orihuela-Espina, Felipe; Leff, Daniel Richard; Mylonas, George P.; Kwok, Ka-Wai; Darzi, Ara W.; Yang, Guang-Zhong, “Cognitive Burden Estimation for Visuomotor Learning with fNIRS”. Aceptado para publicación en Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions (MICCAI) 2010 Volumen 6363 Pages 319-326 Lecture Notes in Computer Science 6363 SEP, Beijing, China. ISSN: 0302-9743.
- Caproni, Marco; Orihuela-Espina, Felipe; James, David R. C.; Menciassi, Arianna; Dario, Paolo; Darzi, Ara W.; Yang, Guang-Zhong; “An Analysis Framework for Near Infrared Spectroscopy Based Brain-Computer Interface and Prospective Application to Robotic Surgery”. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent RObots and Systems (IROS) 2009. Pages 2143 -2148 10-15 OCT, St. Louis, MO, USA ISBN: 978-1-4244-3803-7.



- Leff, Daniel Richard; Orihuela-Espina, Felipe; Leong, Julian; Darzi, Ara W.; Yang, Guang-Zhong; "Modelling Dynamic Fronto-Parietal Behaviour during Minimally Invasive Surgery - a Markovian Trip Distribution Approach", Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions (MICCAI) 2008 Volumen 11(Pt 2) Pages 595-602 Lecture Notes in Computer Science 5242 SEP, New York, USA ISSN: 0302-9743.
- Leff, Daniel Richard; Orihuela-Espina, Felipe; Atallah, Louis; Darzi, Ara W.; Yang, Guang-Zhong, "Functional near infrared spectroscopy innovice and expert surgeons - a manifold embedding approach" Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions (MICCAI) 2007. Vol. 10 (Pt 2) Pages 270-277 Lecture Notes in Computer Science 4792. Finalista para el premio MICCAI 2007 en Innovative Clinical and Biological Applications. SEP, Brisbane, Australia ISSN: 0302-9743.
- Claridge, Ela; Hidovic-Rowe, Dzena; Orihuela-Espina, Felipe; Styles, Iain Bruce, "Quantifying composition of human tissues from multispectral 12 images using a model of image formation". Workshop on Biophotonics Imaging for Diagnostics and Treatment in Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions (MICCAI) October 2006 pg. 7-14 Eds. Ersboll B. K.; Jorgensen, T. M. SEP, Copenhagen, Denmark.
- Styles, Iain B.; Claridge, Ela; Orihuela-Espina, Felipe; Calcagni, Antonio; Gibson, Jonathan M. "Quantitative Interpretation of multi-spectral fundus images". Proceedings of SPIE Medical Imaging: Physiology, Function and Structure from Medical Images APR. 2005, Vol. 5746 pg 267-278 Amir A. Amini, Armando Manduca Eds. ISBN: 9780819457202

Dr. Julio C. Ramírez San Juan

Nivel SNI: II

Estudió física en la UNAM, la Maestría y el Doctorado en ciencias en el INAOE y postdoctorado en el Beckman Laser Institute. Actualmente es Investigador Titular "B" en la Coordinación de Óptica del INAOE.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Photothermal laser speckle imaging, Caitlin Regan, Julio C. Ramirez-San-Juan, and Bernard, Optics Letters / Vol. 39, No. 17, 2014. Optic cavitation with CW lasers: A review, J. P. Padilla-Martinez, C. Berrospe-Rodriguez, G. Aguilar, J. C. Ramirez-San-Juan, and R. Ramos-García, Phys. Fluids 26, 122007 (2014)
- "Kinematic of focusing regions", G. Martínez-Niconoff, SI De los Santos G, J. Silva-Barranco, JA Martínez, P. Martínez-Vera y JC Ramírez-San-Juan. J. Opt. 16, (2014) 085704.
- "Simple correction factor for laser speckle imaging of flow dynamics", JC Ramírez-San-Juan, R. Ramos-García, G. Martínez-Niconoff y B. Choi. Optics Letters, 39, Issue 3, (2014) 678-681.
- "Amorphous silicon-liquid crystals device for photonic applications", Fuentes-García, MC Grados-Luyando, JC Ramírez-San-Juan, R. Ramos-García. Optical Materials Express, 3, 6, (2013), 691 -699.



- "Breaking the Rayleigh-Plateau Instability Limit Using Thermocavitation Within a Droplet", J. P. Padilla-Martínez, JC Ramírez-San-Juan, N. Korneev, D. Banks, G. Aguilar, R. Ramos-García. *Atomization and Sprays*, 23, 6, (2012), 517-533.

Dr. Rubén Ramos García

Nivel SNI: III

Obtuvo su Doctorado en Física por el Imperial College London, en Reino Unido en el año 1997 con la física del efecto fotorrefractivo. Desde 1997 es Investigador Titular "C" en el INAOE, Investigador Asociado al International Center for Theoretical Physics y miembro de la Academia Mexicana de Física. Es autor de 70 publicaciones arbitradas. Sus intereses de investigación incluyen pinzas ópticas, terapia fotodinámica y cavitación óptica.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- Simple technique for generating the perfect optical vortex, Joaquín García-García, Carolina Rickenstorff-Parrao, Rubén Ramos-García, Víctor Arrizón, and Andrey S. Ostrovsky¹, *Optics Letters* Vol. 39, No. 18 (2014), 5305.
- Optic cavitation with CW lasers: A review, J. P. Padilla-Martinez, C. Berrospe-Rodriguez, G. Aguilar, J. C. Ramirez-San-Juan, and R. Ramos-García. *Phys. Fluids* 26, 122007 (2014).
- "Simple correction factor for laser speckle imaging of flow dynamics", JC Ramírez-San-Juan, R. Ramos-García, G. Martínez-Niconoff y B. Choi. *Optics Letters*, 39, Issue 3, (2014) 678-681.
- "Amorphous silicon-liquid crystals device for photonic applications", Fuentes-García, MC Grados-Luyando, JC Ramírez-San-Juan, R. Ramos-García. *Optical Materials Express*, 3, 6, (2013), 691 -699.
- "Breaking the Rayleigh-Plateau Instability Limit Using Thermocavitation Within a Droplet", J. P. Padilla-Martínez, JC Ramírez-San-Juan, N. Korneev, D. Banks, G. Aguilar, R. Ramos-García. *Atomization and Sprays*, 23, 6,

Dr. Francisco Renero Carrillo

Nivel SNI: I

Estudió su Licenciatura en física en la BUAP, México, 1987. Su Maestría en la Universidad de Osaka, Japón, 1992. Su Doctorado lo cursó en la Universidad de Osaka, Japón, 1995. Además, cursó una Licenciatura en fisioterapia, UVM - Puebla, México, 2012. Trabaja en el INAOE como investigador desde 1995.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- D. Hernandez-Contreras, H. Peregrina-Barreto, J. Rangel-Magdaleno, Member, J. Ramirez-Cortes, F. Renero-Carrillo "Automatic classification of thermal patterns in diabetic foot based on morphological pattern spectrum", *Infrared physics & technology*, 2015, Vol. 73, p. 149-157.
- Cadera Miguel Javier, Renero C. Francisco J. (2016). Identificación y reconocimiento automático de movimientos faciales en una población de estudiantes de posgrado. *Memorias VII congreso nacional de tecnología aplicada a ciencias de la salud 2016*, Puebla, México: BUAP. MYT2016-147, 2016.



- Reimer-A. Romero-H, Francisco-J. Renero-C., A Deformable Model to Search Characteristic Facial Points, CIARP 2014 (Springer International Publishing Switzerland 2014), pp. 933-939.
- Cadera Miguel Javier, Renero C. Francisco J. (2016). Identificación y reconocimiento automático de movimientos faciales en una población de estudiantes de posgrado. VII congreso nacional de tecnología aplicada a ciencias de la salud 2016, Puebla, México: BUAP. MYT2016-147, 2016.
- Renero C. Francisco J., Romero Hernández Reimer, (2016). Evaluación de la simetría facial por técnicas digitales, fotógrafos profesionales y como parámetro de atracción física. VII congreso nacional de tecnología aplicada a ciencias de la salud 2016, Puebla, México: BUAP. MYT2016-44, 2016.
- Reimer Agustín Romero Hernández, Francisco Javier Renero Carrillo, Medidas digitales de simetría facial, MyT2015 46, VI Congreso Nacional de Tecnología aplicada a ciencias de la salud, 4, 5 y 6 de junio de 2015.
- Francisco J. Renero, Javier Caldera M, "Podoscopio óptico-digital", Tercer Lugar en la categoría de Cartel en el III Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud, Tonatzintla, Puebla, June 2012.
- Francisco J. Renero, et al, "Valoración muscular cuantificada", Mejor Investigación, XI Jornadas de Salud Puebla, Puebla, February 2011.

Dr. Wilfrido Calleja Arriaga

Nivel SNI: I

Obtuvo su Licenciatura en Ingeniería Industrial Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Puebla, en agosto de 1982. En 1986 obtuvo su Maestría en Ciencias en Electrónica (Microelectrónica) en el INAOE. En 1996 obtuvo su Doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con Especialidad Electrónica de Estado Sólido. Cinvestav-Ipn, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Desarrollo de Infraestructura para el Laboratorio de Innovación en MEMS (LI-MEMS INAOE). Desarrollo y aplicaciones del Proceso de fabricación de Micromecanismos con Polisilicio: PolyMEMS INAOE Instructor principal del Curso de Diplomado PolyMEMS INAOE. Desarrollo de micromponentes para aplicaciones biomédicas utilizando micromaquinado con Polímeros y Metales Nobles.

Publicaciones más recientes/relevantes:

- M. Linares, A. Torres, M. Moreno, J. Molina, C. Zúñiga, and W. Calleja. "A Generic MEMS Fabrication Process based on a Thermal Budget Approach" C. R. Báez, Journal of Electronics Cooling and Thermal Control 2016.
- Carlos Ramón Báez Álvarez, Mónico Linares Arandab, Wilfrido Calleja Arriagac, Alfonso Torres Jacome. "A CMOS-MEMS Test Chip for process control feedback on materials and devices properties", European International Journal of Science and Technology, ISSN: 2304-9693, 2016
- Mario Moreno-Moreno, Carlos Zúñiga, Joel Molina, Wilfrido Calleja, Juan Carlos Cisneros, Luis Niño de Rivera, Volodymir Ponomaryov, Felix Gil, Angel Guillen, Efrain Rubio, Daniela Diaz-Alonso. "Hermetic capacitive pressure sensors for biomedical applications", Microelectronics International 2016



VIII. Apoyo Institucional e Infraestructura

Apoyo Institucional

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) está totalmente comprometido con el desarrollo exitoso de los programas de posgrado ofrecidos. En el decreto de creación del INAOE se establece que la formación de recursos humanos altamente preparados es uno de los ejes de la actividad científica en el INAOE.

La totalidad de la planta de investigadores en el INAOE es de 140 y colaboran en los programas de posgrado en todos los aspectos (impartición de cursos, asesorías, seminarios, dirección de tesis, etc.). El INAOE provee todo el apoyo administrativo necesario para el desarrollo de los programas de posgrado a través de la Dirección de Formación Académica (DFA), el Departamento de Servicios Escolares de la DFA, y de cada Academia con la cual se asocia el programa de posgrado. La comunicación ágil y expedita entre estas instancias contribuye al buen funcionamiento y desarrollo de los diversos programas de posgrado ofrecidos por el Instituto.

El instituto cuenta con los suficientes espacios físicos para las diferentes labores académicas, como son biblioteca, aulas, auditorios, laboratorios bien equipados, talleres y oficinas para estudiantes.

Todos los programas de posgrado del INAOE han recibido un fuerte y decidido apoyo de las autoridades, con los suficientes recursos económicos y humanos para su desarrollo y mejora continua. La Dirección General del INAOE asigna un presupuesto anual a la Dirección de Formación Académica para el apoyo a los diversos programas de posgrado. Este presupuesto (administrado por la DFA) se calendariza para las diferentes actividades en las que se apoya económicamente a los estudiantes: apoyo a estancias cortas de investigación en otras instituciones, gastos de asistencia a congresos (nacionales y en el extranjero), cursos de idiomas, compra de libros, fotocopias, etc.

Además de cursos inglés (ver sección VI inciso (f), el INAOE imparte cursos de redacción en español para sus estudiantes.

Infraestructura

El INAOE tiene una sólida infraestructura en las diferentes áreas que cultiva: Astrofísica, Óptica, Electrónica y Ciencias Computacionales. Cada una de estas áreas tiene un fuerte compromiso en apoyar este nuevo programa. A continuación, se describe un resumen de la infraestructura y los recursos materiales con los que cuenta el Instituto.



Espacios y Equipamiento

Se cuenta con 80 oficinas destinadas a la matrícula estudiantil, con una capacidad total de 400 estudiantes aproximadamente. Cada estudiante cuenta con un equipo de cómputo para la realización de sus actividades académicas. Además se cuenta con salones de clase suficientes para que se puedan cubrir las necesidades de los cursos propuestos por los diferentes programas que ofrece el INAOE.



El INAOE tiene además múltiples laboratorios de investigación y talleres especializados pertenecientes a las diferentes coordinaciones, entre ellos los relacionados con las líneas de investigación del Doctorado en Ciencias en el Área de Ciencias y Tecnologías Biomédicas y que estarán a disposición de los estudiantes del programa de doctorado.

Se describen a continuación:



En el caso de la Coordinación de Óptica se dispondrá de los siguientes laboratorios:

- **Laboratorio de Óptica Biomédica.** Realiza investigaciones teóricas y experimentales de la interacción de la radiación óptica con los tejidos biológicos, incluyendo tanto el estudio de muestras ex-vivo de tejidos humanos como investigaciones in-vivo en pacientes, para establecer metodologías propias de diagnóstico y de nuevas terapias basadas en el uso del láser y la radiación óptica en general.
- **Laboratorio de Microscopía y Metrología Dimensional.** El laboratorio cuenta con un microscopio interferométrico de investigación, trasladado al INAOE desde Londres, Inglaterra. Este instrumento es único en su tipo y permite el estudio de objetos reflejantes con alta resolución y en 3 dimensiones. Cuenta con diversos modos de operación como el campo brillante, barrido tipo 1 y confocal. Se han construido otras clases de microscopio en el laboratorio, a nivel de prototipo y con la característica común de obtener información topográfica de los objetos utilizando información de la fase de la luz reflejada, se realiza también trabajo de metrología como apoyo al proyecto del GTM.
- **Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión.** Está financiado parcialmente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y cuenta con dos sedes, una en el estado de Puebla en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), y la otra en el estado de Guanajuato en el Centro de Investigaciones en Óptica. Para la consecución de sus objetivos, el modelo del Laboratorio es del tipo interdisciplinario donde concurren profesionales del área médica (oftalmólogos y fisiólogos), optometristas, ingenieros biomédicos, y biofísicos. Los resultados esperados de forma genérica son: un mejor conocimiento de los mecanismos de visión; el diseño y producción de instrumentos auxiliares para la corrección de ametropías visuales y para el diagnóstico de patologías, adicionalmente permitirá poder proporcionar servicios clínicos especializados a la población vía la vinculación con instituciones del sector salud. Actualmente, en la sede del INAOE se cuenta con los siguientes equipos: un aberrómetro iTrace, un sistema de óptica adaptiva para formar y captar imágenes de la retina, un sistema de tomografía óptica coherente y espacios con mesas ópticas y equipo de laboratorio para el montaje de experimentos.
- **Biofotónica y Óptica Médica:** Usando espectrofotometría, luz reflejada, esparcimiento, y fluorescencia se desarrollan métodos de diagnóstico no-invasivo para detectar cáncer en la piel, medir niveles de bilirrubina en recién nacidos y para medir los niveles de glucosa en la sangre. Se desarrollan nuevos métodos para evaluar la topografía de la cornea de los ojos humanos para aplicaciones en oftalmología. Se desarrollan mecanismos para obtener imágenes del cerebro humano usando tomografía con radiación electromagnética con frecuencias de terahertz. Se desarrollan pinzas ópticas para manipular células y bacterias.

De la Coordinación de Electrónica se dispondrá de los siguientes laboratorios:

- **Laboratorio de Diseño de Circuitos Integrados.** En este laboratorio se llevan a cabo las actividades de: simulación o verificación del sistema electrónico a fabricar, considerando diversos niveles de abstracción (funcional, comportamiento, circuital o de retardo), simulación simbólica, generación de Layout, extracción de circuito y simulación post-extracción.



De manera adicional, se desarrollan herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y de verificación del diseño. El laboratorio cuenta con varios servidores SUN y PCs donde se ejecutan programas de diseño, simulación y síntesis de circuitos, así como programas de uso general para modelado de alto nivel.

- **Centro de Diseño de MEMS.** El laboratorio orienta sus actividades al desarrollo de procesos de fabricación compatibles con la tecnología del silicio para lo cual se busca la participación con el sector industrial a nivel nacional e internacional. El laboratorio realiza, entre otras, las siguientes actividades: fabricación y caracterización de sensores y actuadores miniatura compatible con procesos de fabricación de circuitos, uso y adecuación de herramientas CAD para el diseño de MEMS, modelado de MEMS y entrenamiento en el diseño y pruebas funcionales de MEMS.
- **Laboratorio de Comunicaciones Ópticas.** El laboratorio está dedicado exclusivamente a la docencia y cuenta con láseres de varios tipos, montajes y equipo óptico, así como equipo electrónico. Todo esto permite complementar los cursos teóricos que forman parte de la especialidad en comunicaciones, asegurando una formación académica integral, ya que permite al estudiante involucrarse con equipo y componentes especializados.
- **Laboratorio de Instrumentación.** En la actualidad opera como un laboratorio de electrónica general y sus actividades comprenden el soporte experimental para los cursos del posgrado en electrónica y el soporte para desarrollo de tesis que involucran la construcción de sistemas electrónicos. En cuanto a su infraestructura cuenta con mesas de trabajo, equipos de medición y pruebas, osciloscopios, generadores de funciones, fuentes, analizadores de espectro, etc. Cuenta con componentes electrónicos diversos y circuitos integrados.
- **Laboratorio de Microelectrónica.** En el laboratorio se ha desarrollado un proceso de fabricación CMOS de Circuitos Integrados (CIs), con geometría mínima de 10 micras. Con esta tecnología se han diseñado y fabricado CIs digitales de propósitos específicos. La inclusión de materiales compatibles con esta tecnología ha resultado en la obtención de sensores y transductores novedosos a los que se ha integrado la electrónica necesaria para su operación y lectura de señales eléctricas de salida en un solo CI. Actualmente se encuentra bajo desarrollo un proceso de fabricación BiCMOS con geometría mínima de 0.8 mm.
- **Laboratorio de Procesamiento Digital de Señales.** El objetivo principal del laboratorio de DSP (Procesamiento de Señales Digitales), es desarrollar nuevos algoritmos, técnicas y herramientas de diseño en varias áreas de DSP y dar a los estudiantes de posgrado la oportunidad de producir el más alto nivel de investigación en DSP. El enfoque adicional es sobre implementación de nuevos algoritmos de DSP, que permita a los estudiantes desarrollar las habilidades necesarias para trabajar con modernos sistemas DSP.
- **Laboratorio de Pruebas y Caracterización de Circuitos Integrados.** El objetivo del laboratorio es medir el desempeño de los dispositivos y circuitos integrados fabricados, a nivel encapsulado y/o nivel oblea, considerando características tales como: frecuencia de operación, ganancia, márgenes de fase, consumo de potencia, robustez a ruido, tolerancia a fallas, efectos de variaciones de proceso y ambientales (temperatura, ruido, radiación, etc.).



Con base en los resultados obtenidos de estas mediciones, es posible sugerir mejoras a los dispositivos y circuitos integrados con el fin de lograr el desempeño deseado.

De la Coordinación de Ciencias Computacionales se aprovecharán:

- **Laboratorio de Aprendizaje Computacional y Reconocimiento de Patrones.** En este laboratorio se diseñan nuevos algoritmos para solucionar problemas no triviales de clasificación, selección de características, minería de datos, predicción y temas afines. El objetivo general es desarrollar nuevo conocimiento en las áreas de reconocimiento de patrones basado en lógica y combinatoria, minería de datos, redes neuronales recurrentes, aprendizaje por refuerzo, reconocimiento basado en lógica difusa, selección de variables y prototipos, aprendizaje basado en grafos.
- **Laboratorio de Cómputo y Procesamiento Ubicuo.** El objetivo principal es proporcionar un espacio de trabajo para los investigadores del INAOE, estudiantes de posgrado e invitados, donde puedan desarrollar proyectos científicos y tecnológicos en las áreas relacionadas con cómputo y procesamiento ubicuo.
- **Laboratorio de Procesamiento de Bioseñales y Computación Médica.** Este laboratorio está planeado para reforzar la línea de investigación de percepción, proporcionando las facilidades que permitan llevar a cabo los trabajos y experimentos relacionados con proyectos de investigación en las áreas de Procesamiento y Clasificación de Bioseñales, y con la implementación artificial de algunos de los sentidos, pertenecientes a la percepción humana, no tan experimentados como el oído y el olfato principalmente, y para aplicaciones médicas en las que se utilizan algunas técnicas de análisis de imágenes.
- **Laboratorio de Robótica.** En el laboratorio se realiza investigación en diversos aspectos de la robótica móvil, como son: locomoción, incluyendo robots acuáticos, hexápodos, ápodos, drones, construcción de mapas, navegación y localización en ambientes interiores y exteriores, control y coordinación de robots basado en teoría de decisiones, aprendizaje para robots mediante diversos enfoques, robots que colaboran en diversas formas e interacción humano-robot.
- **Laboratorio de Visión por Computadora.** El laboratorio de Visión por Computadora pertenece a la Coordinación de Ciencias Computacionales. En el laboratorio se realiza investigación básica y aplicada, así como prestación de servicios a la industria nacional. Sus principales áreas de investigación son: Análisis de Imágenes, Sistemas de Información, Simulación, Confiabilidad de Equipos, Ingeniería de Software y Aplicaciones Industriales de la Visión por Computadora.

En cuanto a Servicios Tecnológicos se empleará:

- **Laboratorio de Diseño Mecánico.** El laboratorio fue fundado en 2002 como parte de un Plan Estratégico de la Dirección de Desarrollo Tecnológico del INAOE, para desarrollar la mecánica de alta precisión. El propósito fundamental es el desarrollo de sistemas opto-mecánicos, sistemas robóticos e instrumentos auxiliares que pueden ayudar a las pruebas de laboratorio, la ejecución o instalación de los sistemas desarrollados.