

## INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA

### PRESENTACIÓN Y, EN SU CASO, APROBACIÓN DE LA CREACIÓN DE UNA ESPECIALIDAD EN CÓMPUTO DE ALTO DESEMPEÑO Y CIENCIA DE DATOS

#### MOTIVACIÓN

La Especialidad en Cómputo de Alto Desempeño es fundamental 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 Especialidad en Computo de Alto Desempeño y que tiene por objeto preparar investigadores capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos relevantes en el área de Cómputo de Alto Desempeño, con enfoque en los campos de: Big data, Deep learning, administración de clusters, modelado y programación de aplicaciones para computo de alto desempeño. 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 Especialidad en Computo de Alto Desempeño y Ciencia de Datos y que tiene por objeto preparar investigadores capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos relevantes en el área de Cómputo de Alto Desempeño, con enfoque en los campos de: Big data, Deep learning, administración de clusters, modelado y programación de aplicaciones para computo de alto desempeño, mismo que no tiene un impacto presupuestal directo, mismo que no tiene un impacto presupuestal directo.**



**ESPECIALIDAD EN  
CÓMPUTO DE ALTO  
DESEMPEÑO Y CIENCIA DE  
DATOS**

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA,  
ÓPTICA Y ELECTRÓNICA



Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica  
Especialidad en Cómputo de alto desempeño



Tonantzintla, Puebla, México

## CONTENIDO

### Contenido

1. Presentación.....	5
1.1. Nombre del programa de estudios.....	5
1.2. Líneas de Investigación que oferta el programa.....	5
1.3. Título académico que se otorga.....	5
1.4. Modalidad en que se imparte.....	5
1.5. Obtención del grado.....	5
2. Fundamentación y Antecedentes.....	5
2.1. Justificación del programa.....	6
2.2. Estado actual y tendencias futuras de las líneas de conocimiento que abarca.....	8
2.2.1. Desarrollo y optimización de modelos de programación para arquitecturas paralelas heterogéneas.....	8
2.2.2. Diseño hardware/software de nuevas arquitecturas a gran escala.....	8
2.2.3. Big Data.....	8
2.2.4. Sistema Operativos para administración de HPC.....	9
2.2.5. Bioinformática.....	9
2.2.6. Deep learning.....	9
2.2.7. Analíticos y visualización.....	9
2.3. Estado del arte y viabilidad del programa.....	9
2.4. Tendencias del mercado laboral.....	10
2.5. Análisis de las políticas educativas y la ubicación del proyecto en la planeación institucional.....	10
2.6. Vinculación instituto-sociedad.....	10
3. Definición del Perfil Profesional.....	12
3.1. Misión.....	12
3.2. Visión.....	12
3.3. Objetivo general.....	12
3.4. Objetivos particulares:.....	12



3.5. Las metas del programa son: .....	13
3.6. Perfil de ingreso .....	13
3.7. Perfil de egreso .....	13
3.8. Formas de evaluación.....	14
4. Explicación del Plan de Estudios. ....	14
5. Estructura del Mapa Curricular. ....	14
5.1. Requisitos de ingreso.....	16
6. Implementación del Plan de Estudios .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
7. Requisitos de permanencia. ....	17
8. Requisitos de egreso. ....	18
9. Límites de tiempo para cursar el plan de estudios. ....	18
10. Idioma extranjero. ....	18
11. Factibilidad Académica .....	19

## 1. Presentación.

### 1.1. Nombre del programa de estudios.

Especialidad en Cómputo de Alto Desempeño

### 1.2. Líneas de Investigación que oferta el programa.

- **Cómputo de Alto Desempeño.** Esta línea de investigación abarca las siguientes áreas: Arquitectura de computadoras, administración de clústeres, redes de computadoras de alta velocidad.
- **Desarrollo y optimización de modelos de programación para arquitecturas paralelas heterogéneas.** Abarcaría áreas como: Programación Cuda (Compute Unified Device Architecture, por sus siglas en inglés), programación Open mp (Open Multi-Processing), programación Open MPI (Message Passing Interface).
- **Aprendizaje profundo y Ciencia de datos:** Abarca áreas como Inteligencia artificial, modelos inteligentes, Redes Neuronales Profundas, Machine Learning, Big Data y computación cognitiva.

### 1.3. Título académico que se otorga.

Especialista en Cómputo de Alto Desempeño

### 1.4. Modalidad en que se imparte.

Semi-escolarizada

### 1.5. Obtención del grado.

Mediante la defensa de una tesina

## 2. Fundamentación y Antecedentes.

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) fue creado por Decreto Presidencial el 11 de noviembre de 1971, reestructurado por Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación en fecha 13 de octubre de 2006; 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 Sta. María Tonantzintla, Estado de Puebla, y tiene por objeto identificar y procurar la solución de problemas científicos y tecnológicos en los

campos de la astrofísica, la óptica, la electrónica, las telecomunicaciones, la computación, la instrumentación y demás áreas afines, 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, se toma la decisión de crear la propuesta de esta especialidad en Cómputo de Alto Desempeño, cuyo objetivo es preparar recursos humanos capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos en las diferentes áreas de nuestra sociedad logrando un aspecto multidisciplinario y objetivo.

Dado el impacto económico, científico, social y benéfico que esta área tiene a nivel nacional e internacional; el INAOE consideró someter a evaluación la propuesta de esta especialidad, 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 la especialidad, entre las cuales se encuentran Big Data, computo en la nube, computo distribuido, HPC software Engineering, Deep Learning, administración y configuración de clústeres de computadoras.

Finalmente se hace notar que el INAOE tiene una amplia experiencia en vinculación con los sectores productivo, científico y social. Con la apertura de esta nueva especialidad 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 temática de redes de supercómputo. La idea principal es establecer lazos de colaboración con otras instituciones que cuenten con áreas de Cómputo de Alto Desempeño, así como instituciones del sector público.

## 2.1. Justificación del programa.

En México se realizan esfuerzos para enfrentar el reto de impulsar los posgrados 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. Esta especialidad 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 esta especialidad 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 las competencias y las habilidades integrales de las personas que ingresan a la especialidad.

Durante el último cuarto de siglo se ha incrementado el uso de arquitecturas de alto desempeño, así como el modelado paralelo y distribuido en los diferentes sectores del país.

Debido a que uno de sus objetivos es el tratamiento de grandes volúmenes de información, así como la manera de aprovecharla, hace que el perfil del egresado sea uno de los más solicitados en los siguientes años en nuestro país.

Actualmente, la demanda de personal especializado en esta área, ha ido creciendo conforme a los avances en la tecnología de supercomputadoras, y la necesidad de procesar bloques de información muy grandes que permitan la generación de nuevos modelos y estrategias de negocio en el país. Sin embargo, la falta de un campo interdisciplinario en las carreras y posgrados que involucre al Cómputo de Alto Desempeño como una herramienta útil para procesar, ha resultado ser una limitante en el desarrollo y la innovación en el área del procesamiento de alto rendimiento.

*En los últimos 4 años el CONACYT ha promovido e incentivado aquellos institutos que deseen involucrarse esta área, a través de la creación “la Red temática de Supercómputo”, así mismo el apoyo para la creación de laboratorios de supercómputo, siendo el INAOE miembro activo del Laboratorio Nacional del Sureste (LNS).*

Derivado de lo anterior, es claro que se requieren profesionistas con una adecuada formación multidisciplinaria en ciencias computacionales enfocadas a soluciones de Cómputo de Alto Desempeño. Todo lo expuesto fundamenta la creación de una especialidad que aporte soluciones a los problemas de



investigación y tecnología de alto rendimiento computacional a nivel local, nacional e internacional. Considerando, además, que el INAOE cuenta ya con convenios de colaboración con instituciones, tales como LNS citado anteriormente, la red MEXSU entre otros.

## 2.2. Situación actual y tendencias futuras de las líneas de conocimiento que abarca.

La especialidad aquí propuesta 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 de supercómputo. El egresado podrá trabajar en una variedad de lugares, centros de investigación, empresas del sector privado que necesiten realizar análisis de datos, sector petrolero, sector energético, agencias gubernamentales locales o estatales, firmas farmacéuticas, de cosméticos e instituciones de investigación, sector químico, sector automotriz entre otros.

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. Desarrollo y optimización de modelos de programación para arquitecturas paralelas heterogéneas.

- Introducción
- Modelos de programación
- Diseño de programas
- Pruebas de rendimiento

### 2.2.2. Diseño hardware/software de nuevas arquitecturas a gran escala

- Patrones de diseño
- Conexión multinivel
- Almacenamiento distribuido
- Planificación de tareas
- Protección de datos

### 2.2.3. Big Data

- Big Data se constituye de tres conceptos “Volumen”, “Velocidad” y “Variedad de características”
- Frameworks
- Data-driven de cómputo científico
- Plataforma de almacenamiento for Big Data sharing.

#### **2.2.4. Sistema Operativos para administración de HPC**

- Generalidades
- Herramientas
- Compiladores
- Entorno de ejecución de tareas (Sistemas de Colas)

#### **2.2.5. Bioinformática**

- Integración de datos biológicos
- Investigación biomolecular
- Computo cognitivo

#### **2.2.6. Deep learning**

- Modelos Automáticos de aprendizaje
- Social Media
- Nvidia Deep learning

#### **2.2.7. Analíticos y visualización**

- Gráficos
- Estructura de datos en R3
- Modelos de perspectiva
- Generación de Hologramas Digitales

### **2.3. Estado del arte y viabilidad del programa.**

El programa de la especialidad propuesta por el INAOE, es altamente viable dada su experiencia docente en áreas relevantes, capacidades de investigación e infraestructura institucional.

El INAOE es uno de los centros CONACYT más antiguos y consolidados, además cuenta con una planta académica de excelencia en las áreas de Astrofísica, Óptica, Electrónica, Ciencias Computacionales, así como Ciencia y Tecnología del Espacio y recientemente Ciencias Biomédicas. Los investigadores adscritos al núcleo básico del programa propuesto y que forman parte de las áreas mencionadas anteriormente, cuentan con la experiencia y conocimientos sólidos y necesarios para cumplir con los objetivos del programa – ver sección 7: Factibilidad Académica.

El INAOE tiene una sólida infraestructura cuenta con un laboratorio de Cómputo de Alto Desempeño en donde se pueden realizar actividades para cumplir con los objetivos del posgrado. Adicionalmente el INAOE tiene acceso a la infraestructura

del LNS por ser miembro activo de este convenio.

Por lo anterior, es claro que el INAOE posee todas las herramientas humanas y físicas para consolidar un programa de enseñanza e investigación en el área de Supercómputo.

#### 2.4. Tendencias del mercado laboral.

La oportunidad laboral del profesionista en Cómputo de Alto Desempeño es amplia, debido a que pueden desarrollar su ejercicio profesional en instituciones de investigación y empresas que procesen y analicen grandes volúmenes de datos. Además, se puede encontrar un campo de acción en centros de investigación y empresas de desarrollo de tecnología.

#### 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 de la especialidad de cómputo de alto desempeño y ciencia de datos, es una propuesta muy pertinente dado que no existe un programa en el país que cubra de una manera exacta las líneas de conocimiento propuestas, de igual manera expandiría los conocimientos obtenidos de egresados en alguna licenciatura en ciencias computacionales, electrónica, física, química, matemáticas 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 de otras IES para realizar estancias de investigación en el INAOE.

También se tienen proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico financiados externamente, los cuales proveen ingresos extraordinarios a los diversos 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.



### 3. 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 Ciencia y Tecnología, específicamente en los campos de diseño, modelado y administración de clústeres de cómputo de alto desempeño, así como el modelado de aplicaciones que hacen uso de este recurso.

#### 3.2. Visión.

La Especialidad en cómputo de alto desempeño y ciencia de datos será reconocida nacional e internacionalmente como una especialidad líder en la innovación y generación de conocimiento científico y tecnológico en el área de Supercómputo.

#### 3.3. Objetivo general.

Preparar profesionales capaces de identificar y resolver problemas científicos y tecnológicos relevantes en el área de Supercómputo, con enfoque en los campos de Big Data, Deep Learning, administración de clústeres, modelado y programación de aplicaciones para cómputo de alto desempeño.

#### 3.4. Objetivos particulares.

- Integrar al Cómputo de Alto Desempeño como una herramienta adicional, para contribuir a la solución de las necesidades multidisciplinarias que requiere el país.
- Formar profesionistas, profesores e investigadores, para la aplicación del supercómputo en los campos de competencia mencionados, que son necesarios para el desarrollo económico y tecnológico del país.
- Formar profesionistas e investigadores capaces de diseñar y construir arquitecturas aprovechando eficientemente las nuevas tecnologías para propósitos específicos.
- Podrán aplicar y desarrollar las capacidades adquiridas en la especialidad incorporándose como investigadores y docentes en universidades o centros de investigación públicos del país, así mismo podrán vincularse con el



sector privado que desarrolla tareas que involucran Cómputo de Alto Desempeño.

### 3.5. Las metas del programa son:

- Proporcionar conocimientos sólidos en las distintas líneas de investigación del programa Inteligencia Artificial, Deep Learning, arquitecturas de clústeres de computadoras, programación paralela y distribuida.
- Incentivar en el estudiante el uso del método científico en la resolución de problemas en las áreas de supercómputo.
- Incentivar a los estudiantes a adquirir las capacidades para desarrollar e innovar las aplicaciones de supercómputo.
- Contribuir en la formación de recursos humanos altamente especializados.

### 3.6. Perfil de ingreso.

El aspirante de la especialidad de Cómputo de Alto Desempeño, debe ser un profesional de las áreas de ciencias exactas, con habilidad para el estudio de las matemáticas, la computación y la electrónica, 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.

El candidato deberá tener un grado de Licenciatura o Ingeniería en las áreas mencionadas con un promedio mínimo de 8.0.

### 3.7. Perfil de egreso.

El egresado del programa se caracterizará por su formación multidisciplinaria con sólidos conocimientos en computación, aplicados al área de supercómputo, que le permitan identificar, diseñar, innovar y proponer alternativas de solución a las necesidades en las áreas, teniendo como base el conocimiento de creación de infraestructuras de alto desempeño y la habilidad para poder desarrollar aplicaciones específicas según la demanda.

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.

Puede desempeñarse como investigador y diseñador de arquitecturas aprovechando eficientemente las nuevas tecnologías para propósitos específicos.

### 3.8. Formas de evaluación.

Las formas de evaluación en la especialidad de Supercómputo son las siguientes:

- Exámenes parciales y examen final de máximo cinco cursos (previa autorización del asesor y la academia).
- Reportes de trabajos de investigación.
- Prácticas de laboratorio y reportes de las mismas.
- Realización de simulaciones y reportes de las mismas.
- Realización de proyectos y presentación o reportes de los mismos.

### 4. Explicación del Plan de Estudios.

El plan de estudios de la especialidad en Cómputo de Alto Desempeño tendrá una duración de mínimo un 1 año y máximo 2 años dividido en cuatrimestres, ingresando en enero o agosto de acuerdo con el calendario académico del INAOE.

Para ser aceptado como estudiante de este programa, el aspirante deberá presentar y aprobar ya sea un examen de admisión, o cursar y aprobar un curso propedéutico. En esta etapa, a través de los profesores, se llevará un registro del perfil del estudiante para poder asesorarlos posteriormente.

Al comienzo del programa se les asigna un tutor perteneciente a la planta académica con el objetivo de asesorar al estudiante en cuanto a los cursos que puede tomar considerando su perfil y sus intereses académicos.

Para poder obtener el grado, el alumno deberá completar 48 créditos.

Al igual que el resto de los posgrados del INAOE este programa estará regulado por el Reglamento de Posgrado, mismo que está en revisión constante.

### 5. Estructura del Mapa Curricular.

Debido a que en el perfil de ingreso se maneja el dominio de conocimientos de áreas distintas, sólo se ofrecen 1 curso obligatorio el cual contienen los conocimientos básicos indispensables para comenzar el programa. Este curso se denomina Diseño de Algoritmos. El resto de los cursos que ofrece el programa son optativos para dar una mayor flexibilidad y variedad de acuerdo con los intereses académicos de los estudiantes y a las áreas tecnológicas ya desarrolladas en el Instituto. En el siguiente cuadro se describe la estructura del mapa curricular, señalando la etapa de formación, el nombre de los cursos obligatorios, su carga de créditos en relación con las horas de aprendizaje con docente y de manera independiente.

	CURSOS	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CREDITOS
				C/DOCENTE	INDEPENDIENTES	
1er. Período	Diseño de Algoritmos			48	80	6
	Arquitectura de Computadoras y Sistemas operativos			48	80	6
	Curso Optativo			48	80	4
2do. Período	Computo paralelo y distribuido			48	80	6
	Clúster de hpc I			48	80	6
	Curso Optativo / desarrollo de tesina			48	80	4
3er. Período	clúster de hpc II			48	80	6
	Laboratorio multidisciplinario			48	80	6
	Curso Optativo /desarrollo de tesina			48	80	4
4-6to Período	DESARROLLO DE TESINA			-	-	-



En el siguiente cuadro aparece la lista de los cursos optativos, su carga de créditos en relación a las horas de aprendizaje con docente y de manera independiente.

Cursos de Ciencias Computacionales enfocadas al alto desempeño	Clave	Seriación	Horas		Créditos
			Con docente	Independientes	
Inteligencia artificial			48	80	6
Administración de sistemas Linux			48	80	6
Redes de computadoras de alto desempeño			48	80	8
Aplicaciones hpc			48	80	8
Administración de recursos para clústeres de alto desempeño			48	80	8
Programación CUDA			48	80	8
Programación OPENMP			48	80	8
Almacenamiento Distribuido			48	80	8
Cloud computing			48	80	8
Seguridad en hpc			48	80	8
Computo heterogéneo			48	80	8
Sistemas definidos por Software			48	80	8
Programación Open MPI			48	80	8
Programación Híbrida MPI/OpenMP/Cuda			48	80	8
Monitoreo de Recursos			48	80	8
Librerías de Alto desempeño			48	80	8
Front-end HPC			48	80	8
Internet basado en cómputo paralelo			48	80	8
Generación de Hologramas Digitales			48	80	8

### 5.1. Requisitos de ingreso.

- a) Título de licenciatura o acta de examen de grado y certificado oficial de estudios.
- b) Haber obtenido un promedio mínimo de 8.0 (ocho punto cero), equivalente, o mayor en sus estudios de licenciatura.
- c) Presentar y aprobar el Examen de Admisión, obtener una calificación mínima de 8.0 (aplica para todos los aspirantes).
- d) Para el caso de los cursos propedéuticos, obtener calificaciones de 7.0 (siete. Cero) o mayor en cada uno de los cursos del propedéutico.
- e) Presentarse a una entrevista con los investigadores designados por el Núcleo Básico de Profesores de la especialidad.
- f) 80% mínimo de conocimiento del idioma español para estudiantes extranjeros.
- g) Proporcionar toda la documentación requerida en original al momento de realizar su inscripción.
- h) La decisión sobre la aceptación al programa de posgrado de los alumnos que cumplan con todos estos requisitos quedará a criterio de cada Núcleo Básico de Profesores de la especialidad, no siendo posible admitir alumnos que no cumplan con todos los requisitos.

### 6. Requisitos de permanencia.

- a) Ser estudiante de tiempo parcial. Se entiende por esto que el estudiante dedicará el tiempo necesario a sus actividades académicas a manera de que pueda asistir a las clases.
- b) Aprobar todas las materias cursadas.
- c) Mantener un promedio mínimo de 8.0, en cada uno de los períodos académicos. Si este no fuera el caso el estudiante tendrá, a criterio del Núcleo Básico de Profesores de la especialidad correspondiente, una sola oportunidad para mejorar su promedio en el siguiente período.
- d) Concluir el programa en un tiempo máximo de 24 meses contados a partir de

su ingreso al postgrado. En caso de considerarlo necesario, el director de tesina del estudiante puede solicitar la extensión de este período a la Academia correspondiente, quien decidirá finalmente sobre la pertinencia de dicha extensión.

## 7. Requisitos de egreso.

- a) Haber obtenido un promedio general de 8.0 (ocho punto cero), o mayor durante sus estudios de especialidad.
- b) Realizar un proyecto que culmine en la escritura de una tesina avalado por el Núcleo Básico de Profesores de la especialidad, bajo la tutela de un director.
- d) Demostrar competencia en el idioma inglés por medio de lectura y comprensión.
- e) No tener ningún tipo de adeudo con el INAOE.
- f) Defender y aprobar su trabajo presentado en la tesina ante un jurado previamente nombrado por el Núcleo Básico de Profesores de la especialidad correspondiente en examen abierto a la comunidad académica.

## 8. 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 dos años y salvo casos excepcionales y previa autorización de la Academia, se podrá realizar en dos años y medio.

## 9. Idioma extranjero.

El INAOE ofrece cursos de inglés para que los estudiantes adquieran habilidades en este idioma y puedan 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 describen los cursos de inglés ofrecidos en el Instituto.

<b>Cursos de Inglés</b>	
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 TOEFEL	

## 10. 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 de la Especialista en Cómputo de Alto Desempeño estará conformada inicialmente por 8 investigadores del INAOE.

En la siguiente tabla se enlista el nombre de los investigadores pertenecientes al Núcleo Académico Básico, su nivel en el SNI, así como la coordinación de adscripción.

No	Investigador	SNI	Coordinación INAOE
1	Dr. Rodríguez Gómez Gustavo	I	Ciencias Computacionales
2	Dr. Saúl Pomares Hernández	I	Ciencias Computacionales
3	Dra. Claudia Feregrino Uribe	I	Ciencias Computacionales
4	Dr. René Armando Cumplido Parra	II	Ciencias Computacionales
5	Dr. Miguel Arias Estrada	I	Ciencias Computacionales
6	Dra. Alicia Morales Reyes	I	Ciencias Computacionales
7	Dr. Julio Cesar Pérez Sansalvador		Desarrollo Tecnológico
8	Dr. Arturo Olivares Pérez	II	Óptica

## 11. Síntesis curricular de la planta académica.

### **Dr. Gustavo Rodríguez Gómez**

#### **Nivel SNI: I**

Egresado de la carrera de matemáticas de la Facultad de Ciencias de la UNAM, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Matemáticas en la Facultad de Ciencias de la UNAM, obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Computacionales en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Actualmente es investigador de Tiempo Completo adscrito a la Coordinación de Ciencias Computaciones del INAOE.

#### **Publicaciones más recientes/relevantes:**

- Eduardo Lopez Dominguez, Saul E. Pomares Hernandez, Gustavo Rodriguez Gomez, Maria Auxilio Medida and Jose A. Munoz Gomez, An Efficient Causal Protocol with Forward Error Correction for Mobile Distributed Systems. American Journal of Applied Sciences, 2010, ISSN 1546-9239 (Print) and ISSN 1554-3641.
- Pedro González-Casanova, José Antonio Muñoz-Gómez, Gustavo Rodríguez-Gomez, "Node Adaptive Domain Decomposition Method by Radial Basis Functions", Numerical Methods for Partial Differential Equations, Vol. 25 Issue 6, pp. 1261-1510, November 2009, ISSN: 1098-2426, Published Online: 30 December 2008, Wiley Periodicals, Inc., A Wiley Company, DOI:10.1002/num.20410.
- Luis A. Morales Rosales, Saul E. Pomares Hernandez, Gustavo Rodriguez Gomez, "Fuzzy Causal Ordering of Events in Distributed Systems", Journal of Applied Sciences, Asian Networks for Scientific Information, Vol. 9. Issue 8, pp 1441-1449, 2009, ISSN 1812-5654.
- Saul E. Pomares Hernandez, Eduardo Lopez Dominguez, Gustavo Rodriguez Gomez, Jean Fanchon, "An Efficient Delta-Causal Algorithm for Real Time Distributed Systems", Journal of Applied Sciences, Asian Networks for Scientific Information, Vol. 9. Issue 9, pp 1711-1718, 2009, ISSN 1812-5654.

### **Dr. Saúl Eduardo Pomares Hernández**

#### **Nivel SNI: I**

Estudió la Ingeniería en Ciencias Computacionales en el Instituto Tecnológico de Veracruz, cursó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica y Telecomunicaciones en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Guadalajara. Obtuvo el Doctorado en el área de Ciencias Computacionales y Telecomunicaciones en el Institute National



Polytechnique de Toulouse en Francia. Hizo una estancia doctoral en el Centre National de la Recherche Scientifique en Francia. Actualmente es investigador y Coordinador de Ciencias Computacionales en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.

#### **Publicaciones más recientes/relevantes:**

- “The Minimal Dependency Relation for Causal Event Ordering in Distributed Computing,” Saul e. Pomares Hernandez, Applied Mathematics & Information Systems, Eds, Natural Publ., Vol. 9, No. 1, 2015.
- “Temporal alignment model for data streams in wireless sensor networks based on causal dependencies,” Jose Roberto Perez Cruz, Saul E. Pomares Hernandez, International Journal of Distributed Sensor Networks, Eds. Hindawi, Vol. 2014, No. 938698, 2014.
- “A Scalable Communication-Induced Checkpointing Algorithm for Distributed System,” Alberto Calixto, Saul E. Pomares Hernandez, Jose Roberto Perez Cruz, Pilar Gomez-Gil and Khalil Drira, Transactions on Information Systems, Eds. IEICE, Vol. E96-D, No. 4, 2013, pp. 886-896.
- “From the Happened-Before Relation to the Causal Ordered Set Abstraction,” Saul E. Pomares Hernandez, Jose Roberto Perez Cruz and Michel Raynal, Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC), Eds. Elsevier, Vol. 72, No. 6, 2012, pp. 791-795, ISSN: 0743-7315, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2012.02.015>.

#### **Dra. Claudia Feregrino Uribe**

**Nivel SNI: I**

Estudió la Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Querétaro, cursó la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Telecomunicaciones en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Guadalajara. Obtuvo el Doctorado en Ingeniería Electrónica en Loughborough University, Reino Unido. Actualmente es investigadora de tiempo completo en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.

#### **Publicaciones más recientes/relevantes:**

- Lázaro Bustio-Martínez, René Cumplido, Raudel Hernández-León, José M. Bande-Serrano, Claudia Feregrino-Urbe, On the design of hardware-software architectures for frequent itemsets mining on data streams, Journal of Intelligent Information Systems, May 2017, pp. 1-26. DOI 10.1007/s10844-017- 0461-8.

- Menéndez-Ortíz A., Feregrino-Uribe C., García-Hernández J.J., Guzman-Zavaleta Z.J., Self-recovery Scheme for Audio Restoration after a Content Replacement Attack, *Multimedia Tools and Applications* (2017), 76(12), 14197-14224. doi: 10.1007/s11042-016-3783-6. (Online 11 August 2016).
- **Jezabel Guzman-Zavaleta, Claudia Feregrino-Uribe, Miguel Morales-Sandoval, Alejandra Menendez-Ortiz**, A robust and low-cost video fingerprint extraction method for copy detection, *Multimedia Tools and Applications*. 2016, issn: 1573-7721, pp. 1-21. doi: 10.1007/s11042-016-4168-6.
- Guzman-Zavaleta ZJ, Feregrino-Uribe C (2016) Towards a Video Passive Content Fingerprinting Method for Partial-Copy Detection Robust against Non-Simulated Attacks. *PLoS ONE* 11(11): e0166047. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166047>

**Dr. René Armando Cumplido Parra**  
**Nivel SNI: II**

Estudió la Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico de Querétaro, cursó la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Telecomunicaciones en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en Guadalajara. Obtuvo el Doctorado en Ingeniería Electrónica con Especialidad en Sistemas Digitales, en la Universidad de Loughborough, Reino Unido. Actualmente es investigador de tiempo completo en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.

**Publicaciones más recientes/relevantes:**

- “Improving the construction of ORB through FPGA-based acceleration”, Roberto de Lima, Jose Martinez-Carranza, Alicia Morales-Reyes, Rene Cumplido. *Machine Vision and Applications*, August 2017, Volume 28, Issue 5-6, pp 525-537. [Doi.org/10.1007/s00138-017-0851-5](https://doi.org/10.1007/s00138-017-0851-5).
- “On the design of hardware-software architectures for frequent itemsets mining on data streams”, Lázaro Bustio-Martínez, Rene Cumplido, Raudel Hernández-León, José M. Bande-Serrano, Claudia Feregrino-Uribe. *Journal of Information Intelligent Systems*, Springer. DOI 10.1007/s 10844-017-0461-8.
- “A Scalable and Customizable Processor Array for Implementing Cellular Genetic Algorithms”, Martin Letras, Alicia Morales-Reyes, Rene Cumplido. *Neurocomputing*. Elsevier. Volume 175, Part B, 29 January 2016, Pages 899-910. ISSN: 0925-2312. DOI doi: 10.1016/j.neucom.2015.05.128.
- “Analysis of an Adaptive Watermarking Scheme Designed for Video Copyright Protection”, Pedro Aaron Hernández-Grácidas, Ignacio Algreto-Badillo. *International Journal of Computer Science and Information Security*, IJCSIS, Vol. 14, No. 12, December Issue 2016.



**Dr. Miguel Arias Estrada**  
**Nivel SNI: I**

Completó sus estudios en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica en la FIMEE de la Universidad de Guanajuato en Salamanca, Guanajuato, Estudió la Maestría en Ingeniería en Instrumentación y Sistemas Digitales en la misma Institución, terminó su doctorado en el Laboratorio de Visión y Sistemas Digitales de la Universidad Laval en Quebec, PQ., Canadá. Actualmente continúa haciendo investigación en arquitectura FPGA para la visión por computadora en el INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en Puebla)

**Publicaciones más recientes/relevantes:**

- Article: Robust feature extraction algorithm suitable for real-time embedded applications
- Electronic Devices That Identify Individuals with Fever in Crowded Places: A Prototype.
- Zika virus disease: electronic devices [Letter]
- An FPGA stereo matching unit based on fuzzy logic

**Dra. Alicia Morales Reyes**  
**Nivel SNI: I**

Obtuvo una Licenciatura en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional Autónoma de México, Obtuvo una Licenciatura en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional Autónoma de México, terminó sus estudios doctorales en el Insitute for Integrated Micro and Nano Systems; (IMNS) de la Universidad de Edimburgo en Escocia, Reino Unido. Actualmente, colabora con el grupo de investigación en Ingeniería en Sistemas, en la coordinación de Ciencias Computacionales del INAOE, como parte del programa de repatriación CONACyT.

**Publicaciones más recientes/relevantes:**

- Jorge Echavarría, Alicia Morales-Reyes, Rene Cumplido, Miguel A. Salido, Claudia Feregrino-Uribe. "IP Cores Watermarking Scheme at Behavioral Level using Genetic Algorithms". Submitted to Expert Systems with Applications Journal (JCR 2.240), Elsevier. June 2015.
- Alicia Morales-Reyes, Hugo Jair Escalante, Martin Letras, Rene Cumplido. "An Empirical Analysis on Dimensionality in Cellular Genetic Algorithms". GECCO 2015: Proceedings of the 2015 Genetic and Evolutionary Computation Conference. ACM. July 11-15, 2015. Madrid,



Spain. DOI: Pending.

- Hugo Jair Escalante, Mauricio García-Limón, Alicia Morales-Reyes, Mario Graff, Manuel Montes-y-Gómez, Eduardo F. Morales, and José Martínez-Carranza. "Term- Weighting Learning via Genetic Programming for Text Classification". Knowledge-based Systems Journal, Elsevier (JCR 2.947). Volume 83, July 2015, Pages 176–189. doi:10.1016/j.knosys.2015.03.025.
- Martín Letras-Luna, Alicia Morales-Reyes, René Cumplido. "A Scalable and Customizable Processor Array for Implementing Cellular Genetic Algorithms". Accepted for publication, Neurocomputing Journal, Elsevier (JCR 2.083). May 2015. doi: pending.

### Dr. Julio Cesar Pérez Sansalvador

Realizó la licenciatura en Ciencias computacionales en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, estudió la maestría en Ciencias Computacionales en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE), terminó sus estudios doctorales en la Universidad de Manchester, Reino Unido, actualmente se encuentra colaborando en el laboratorio de Visión por computadora en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE).

#### Publicaciones más recientes/relevantes:

- Serrato Barrera Ricardo, Rodríguez Gómez Gustavo and Pomares Hernández Saúl E., **Pérez Sansalvador Julio César**, Flores Pulido Leticia, (2016), **Using Design Patterns to Solve Newton--type Methods**, Trends and Applications in Software Engineering: Proceedings of CIMPS 2016, Springer International Publishing, 537, 101-110.
- **Pérez Sansalvador Julio César**, Rodríguez Gómez Gustavo and Pomares Hernández Saúl E. (2011), **Pattern object-oriented architecture for Multirate Integration Methods**, CONIELECOMP 2011, 21st International Conference on Electrical, Communications, and Computers, IEEE, 28, 158-163.

### Dr. Arturo Olivares Pérez

Nivel SNI: II

Realizó la Licenciatura en Física en UANL, Monterrey, Nuevo León, México, 1984. Con el tema de tesis "Formación de hologramas con gelatina dicromada." Sus estudios de Maestría en Ciencias, especialidad en Óptica los realizó en el CIO, León, Guanajuato, México, 1987. Doctorado en Ciencias, especialidad en Óptica, con el tema de tesis "Pseudo-coloración por profundidad de escenas 3D con hologramas de imagen." Su Doctorado en Ciencias, especialidad en Óptica lo realizó en el CIO, León, Guanajuato, México, 1993 con el tema de tesis "Formación de hologramas con la fotorresina Shipley 1350-J para aplicaciones en estampado y sistemas óptics."

## Publicaciones más recientes/relevantes:

- Holograms in Albumins and Optical Properties Recorded in Real Time,” Arturo Olivares-Pérez, Manuel Jorge Ordóñez-Padilla, Santa Toxqui-López. Optics and Photonics, 2015, 5, 177-192.
- Micro displacement measured by the grating interferometer with rings pattern A. Olivares-Pérez. 7 Revista Mexicana de Física, 60 (2014), 425–434. "Voltage Effect in Holograms of Polyvinyl Alcohol with FeCl<sub>3</sub>" A. Olivares Pérez, MP Hernández-Garay, S. Toxqui-López, I. FuentesTapia, y MJ Ordóñez-Padilla. Polímeros, 6 (2014), 899- 925.

## 12. Apoyo Institucional e Infraestructura.

### 12.1. 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 su Decreto de Creación, se establece que la formación de recursos humanos altamente preparados es uno de los ejes de la actividad científica en el INAOE.

La planta de investigadores asciende a 132 los cuales 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 de inglés (ver sección VI inciso (f)), el INAOE imparte cursos de redacción en español para sus estudiantes.

## 12.2. Infraestructura.

### 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 para que los estudiantes puedan implementar el plan de estudios de acuerdo con los programas que ofrece el INAOE.

### Laboratorios

La especialidad que se creará cuenta con el apoyo de todas las Coordinaciones del INAOE, en cuanto a infraestructura utilizará principalmente los Laboratorios de las Coordinaciones de Óptica, Electrónica y Ciencias Computacionales.

De la Coordinación de Ciencias Computacionales se aprovecharán:

- **Laboratorio de Supercómputo:** El laboratorio cuenta con un clúster de 400 núcleos para el desarrollo de aplicaciones paralelas y distribuidas, permitiendo resolver problemas de impacto social, académico, y las diferentes disciplinas que requieren hacer uso de la herramienta de supercómputo, su red contempla una red de alta transferencia para clústeres de última generación. Adicionalmente se cuenta con software libre, herramientas de monitoreo de recursos, así como una plataforma para la solicitud y acceso al clúster.
- **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 Tecnologías del Lenguaje.** El Laboratorio de Tecnologías del Lenguaje realiza investigación básica y aplicada en el tratamiento del lenguaje humano por medios artificiales. El objetivo general del laboratorio es la búsqueda de soluciones ante los problemas del uso del lenguaje humano en un entorno computacional. Desde su formación, el laboratorio ha llevado a cabo diferentes proyectos tanto de ciencia básica como aplicados, desarrollando metodologías y herramientas para la solución de problemas relacionados con: la extracción de información basada en aprendizaje automático; la investigación y desarrollo de sistemas para la búsqueda de respuestas a preguntas formuladas en lenguaje natural; la caracterización de textos para la identificación de autor o la detección de plagio; la generación automática de resúmenes multi documento; la recuperación de información en fuentes multimodales y multilingües.
- **Laboratorio de Visión por Computadora.** El laboratorio de Visión por Computadora pertenece a la 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.

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 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  $\mu\text{m}$ .

De la Coordinación de Óptica se aprovecharán:

- **Laboratorio de Óptica Difractiva:** Este laboratorio cuenta con las instalaciones y equipo básico para realizar las tareas y proyectos de investigación del Grupo de Óptica Difractiva. Entre el equipamiento de uso general, se cuenta con una mesa holográfica y un banco óptico para la realización de diferentes arreglos experimentales y prototipos, tanto de óptica difractiva como de holografía digital. Por otro lado, el laboratorio dispone de equipo especializado como son 6 moduladores de cristal líquido de tipo neumático, de variado formato y conteo de píxeles. Dentro de las aplicaciones de laboratorio se realizan estudio de hologramas sintéticos de fase: empleando moduladores de fase se generan campos ópticos arbitrarios a partir de un as de láser Gaussiano. Estudio de holografía digital: se aplican varios arreglos interferométricos con detectores CCD y computadoras para caracterizar campos ópticos y componentes ópticas.