

PLAN DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

2019 ▶ 2023



INSTITUTO
DE FISICA



ÍNDICE

CONSEJO INTERNO	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Preámbulo	6
1.2 Misión y objetivos	7
2. DIAGNÓSTICO Y ORGANIZACIÓN	9
2.1 Diagnóstico General	9
2.2 Organización Actual	13
2.2.1 Organización Académica	13
2.2.2 Organigrama Actual	16
3. DESCRIPCIÓN Y PERSPECTIVAS	18
3.1 Departamentos de Investigación	18
3.1.1 Estado Sólido	18
3.1.2 Física Cuántica y Fotónica	20
3.1.3 Física Experimental	21
3.1.4 Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación	23
3.1.5 Física Química	24
3.1.6 Física Teórica	25
3.1.7 Materia Condensada	26
3.1.8 Sistemas Complejos	28
3.2 Secretarías de Apoyo a la Investigación y Docencia	29
3.2.1 Secretaría Académica	29
3.2.2 Unidades de Apoyo	30
3.2.3 Secretaría Técnica de Cómputo y Telecomunicaciones	33
3.2.4 Secretaría Técnica de Taller y Mantenimiento	35
3.2.5 Secretaría Administrativa	36

4. EJES DE ACCIÓN Y PROYECTOS	37
4.1 Fortalecimiento a la vida académica e institucional	39
4.1.1 Proyecto: Mejoramiento de los procesos de contratación, recontractación y promoción	39
4.1.2 Proyecto: Integración a la comunidad del Instituto reforzando el compromiso institucional en tareas de grupo, departamentales e institucionales	39
4.1.3 Proyecto: Lineamientos de evaluación	40
4.1.4 Proyecto: Reforzamiento y creación de otros canales de comunicación interna	40
4.1.5 Proyecto: Fomento de una política de crecimiento y renovación	41
4.1.6 Proyecto: Comisión Interna de Equidad de Género	41
4.1.7 Proyecto: Comisión y Código de Ética Académica	42
4.2 Fortalecimiento a la investigación	42
4.2.1 Proyecto: Robustecer los Programas y Proyectos de Investigación del Instituto de Física	43
4.2.2 Proyecto: Ampliar la búsqueda de oportunidades y financiamiento nacional e internacional	43
4.2.3 Proyecto: Revisión de la política para la asignación de plazas posdoctorales	44
4.2.4 Proyecto: Establecer estrategias que propicien sinergias entre los académicos	44
4.2.5 Proyecto: Fortalecimiento de la presencia en comités colegiados, comisiones y organismos de financiamiento	45
4.3 Fortalecimiento a la docencia y formación de personal altamente calificado	45
4.3.1 Proyecto: Estrategias para atraer estudiantes y aumento de la oferta académica en licenciatura.	46
4.3.2 Proyecto: Apoyo a la reestructuración del Posgrados en Ciencias Física (PCF)	46
4.3.3 Proyecto: Apoyo para la captación de estudiantes	47
4.3.4 Proyecto: Integración a los estudiantes asociados de primer ingreso al posgrado en el IF	47
4.3.5 Proyecto: Incorporación de egresados	48

4.3.6 Proyecto: Fortalecimiento en la búsqueda de espacios de mayor incidencia de la enseñanza de la física en México	48
4.4 Fortalecimiento a la organización, infraestructura y servicios	48
4.4.1 Proyecto: Ampliación de proyectos académicos con los cuales se puedan renovar los equipos institucionales	49
4.4.2 Proyecto: Inclusión del personal académico en sedes universitarias de reciente creación dentro y fuera de la Cd. de México	49
4.4.3 Proyecto: Reorganización la Secretaria Técnica del taller mecánico y mantenimiento	50
4.4.4 Proyecto: Modernización de servicios	50
4.4.5 Proyecto: Establecimiento de políticas de sustentabilidad que se logren acciones y participación en proyectos para mejorar la relación entre las actividades del IF y el medio ambiente	51
4.4.6 Proyecto: Revisión y adaptación del organigrama de acuerdo a las necesidades actuales	51
4.5 Vinculación y comunicación	54
4.5.1 Proyecto: Consolidación de la transferencia de conocimiento en el IF como parte de sus actividades ordinarias y rutinarias	54
4.5.2 Proyecto: La Física como parte de la cultura	54
4.5.3 Proyecto: Desarrollo de redes sociales	55
4.5.4 Proyecto: Comunicación de la información generada por el IF	55
4.5.5 Proyecto: Fortalecer la vinculación científica	56
5. EVALUACIÓN, SEGUIMIENTO Y CONSIDERACIONES FINALES	57
6. APÉNDICES	58
A. Organización académica en números	58
B. Descripción de áreas de investigación por departamentos	65

CONSEJO INTERNO

MIEMBROS	NOMBRAMIENTO
Dra. Cecilia Noguez Garrido	Directora y presidenta del CI
Dr. Jesús Ángel Arenas Alatorre	Secretario Académico y secretario del CI
Dr. Adolfo Ernesto Cordero Borboa	Jefe del Depto. de Estado Sólido
Dr. Jacques Soullard Saintrais	Representante del Depto. de Estado Sólido
Dr. Víctor Manuel Romero Rochín	Jefe del Depto. de Física Cuántica y Fotónica
Dr. Carlos Pineda Zorrilla	Representante del Depto. de Física Cuántica y Fotónica
Dr. José Luis Ruvalcaba Sil	Jefe del Depto. de Física Experimental
Dr. Luis Alberto Medina Velázquez	Representante del Depto. de Física Experimental
Dr. Javier Miranda Martín del Campo	Jefe del Depto. de Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación
Dra. Corina Solís Rosales	Representante del Depto. de Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación
Dr. Rolando Castillo Caballero	Jefe del Depto. de Física Química
Dr. Luis Antonio Pérez López	Representante del Depto. de Física Química
Dra. Myriam Mondragón Ceballos	Jefa del Depto. de Física Teórica
Dr. Miguel Ángel Solís Atala	Representante del Depto. de Física Teórica
Dr. José Guadalupe Pérez Ramírez	Jefe del Depto. de Materia Condensada
Dr. Lauro Bucio Galindo	Representante del Depto. de Materia Condensada
Dr. Gerardo García Naumis	Jefe del Depto. de Sistemas Complejos
Dr. Rafael Ángel Barrio Paredes	Representante del Depto. de Sistemas Complejos
M. en C. César Ruiz Trejo	Representante de los Técnicos Académicos
INVITADOS	CON VOZ Y SIN VOTO
Dr. César Leonardo Ordoñez Romero	Secretario Técnico de Cómputo y Telecomunicaciones
Dra. Rosario Paredes Gutiérrez	Coordinadora Docente
Dr. Juan Carlos Cheang Wong	Representante del Personal Académico ante el CTIC
Dr. Luis Rodríguez Fernández	Representante del CAACFMI
Dr. Luis Alberto Medina Velázquez	Representante del IF ante Consejo Universitario

1. INTRODUCCIÓN

- ▶ El presente Plan de Desarrollo Institucional 2019-2023 del Instituto de Física (IF) de la UNAM, se basa en el Plan de Trabajo del cuatrienio 2019-2023 presentado por la actual directora del IF ante la Junta de Gobierno. Las acciones que propone el IF en cuanto al impulso y fortalecimiento de la investigación básica y aplicada, la interdisciplina entre las entidades académicas para potenciar capacidades, nuevas líneas de investigación, servicios para los sectores productivo y público, entre otras, se encuentran en armonía con las líneas de trabajo de la presente administración con base en el programa de trabajo del Rector Dr. Enrique Luis Graue Wiechers y el Plan de Desarrollo Institucional 2019-2023. De esta manera se da cumplimiento a lo establecido en el Capítulo VII, artículo 53, numeral IX del Estatuto General de la UNAM.

El Plan de Trabajo se elaboró después de haber realizado una extensa consulta con la comunidad del IF antes y después de la designación de la presente dirección. Aquí se exponen el diagnóstico de sus fortalezas, debilidades y retos. También se incorporó la información proporcionada por los Jefes de Departamento, miembros del Consejo Interno, Secretarías y Unidades de Apoyo; así como otros órganos colegiados del IF, sobre la situación académica y administrativa actual que guarda cada uno de los departamentos y áreas de trabajo de este Instituto. Finalmente se establecen ejes de acción con proyectos, objetivos, metas e indicadores específicos.

1.1 Preámbulo

La investigación en Física permite entender los diferentes ritmos y escalas que componen el universo, siendo así un gran estímulo para la creatividad intelectual y la cultura. Además, es la piedra angular de la innovación y el desarrollo tecnológico. En México, esta disciplina se desarrolla formalmente desde la creación del Instituto de Física (IF) en 1938. Gracias a sus más de 80 años, el IF tiene una madurez que lo coloca como la institución de mayor importancia y prestigio en Física por su aportación al conocimiento científico, la educación y la difusión de la cultura en la UNAM y en México, lo que se debe seguir fortaleciendo en el futuro.

Actualmente el IF tiene una planta académica de 131 investigadores, 5 catedráticos CONACYT, 55 técnicos académicos y alrededor de 30 becarios posdoctorales.

Todos ellos organizados en ocho departamentos y apoyados por alrededor de 130 trabajadores administrativos. Cada semestre, el IF tiene en promedio 350 estudiantes asociados registrados de todos los niveles. Además alberga la impartición de más de 30 cursos de posgrado y licenciatura al semestre. En la UNAM se participa directamente en diferentes licenciaturas, destacando la de Física, y en los Posgrados de Ciencias Físicas (PCF) y el de Ciencia e Ingeniería en Materiales (PCeIM), y de manera indirecta en otros, como el Posgrado de Ciencias Químicas (PCQ).

En los últimos años, el IF tuvo un crecimiento vertiginoso causado por la incorporación de 31 investigadores, la renovación de 12 técnicos académicos y la instalación de 13 nuevos laboratorios con técnicas de vanguardia y donde se cultivan nuevas líneas de investigación. Se incorporaron académicos con diversos perfiles, algunos en grupos y laboratorios ya consolidados o para fortalecer los Laboratorios Nacionales, otros que participan en grandes colaboraciones internacionales, y algunos más con nuevas líneas de investigación. Actualmente se desarrolla una amplia gama de líneas de investigación en física básica y aplicada, agrupadas en cuatro grandes áreas de conocimiento, con 25 áreas de temáticas y cada una de las temáticas con al menos cinco líneas de investigación. Además, se tienen unidades de apoyo como la coordinación docente, la biblioteca, con el mayor acervo en el país, la de comunicación y la de vinculación, así como la de cómputo y telecomunicaciones, el laboratorio central de microscopía, el laboratorio de electrónica y el taller mecánico.

El IF cuenta con un total de 80 espacios de laboratorios de investigación, algunos de éstos se encuentran en una etapa de implementación o desarrollo, dos están fuera de Ciudad Universitaria, cuatro son Laboratorios Nacionales y uno más, el Laboratorio Central de Microscopía, es un Laboratorio Universitario. La infraestructura actual también incluye cuatro aceleradores de partículas en funciones. Los Laboratorios Nacionales en orden cronológico son: el Laboratorio de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA); el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC);

el Laboratorio Nacional *High Altitude Water Cherenkov* (HAWC) y el Laboratorio Nacional de Materia Cuántica (LANMAC), representando alrededor del 11% del total de Laboratorios Nacionales de la UNAM y reafirma el liderazgo de la institución. El HAWC y LEMA fueron aprobados dentro de la convocatoria 2009 del CONACyT, mientras el LANCIC y LANMAC en la del 2014. LANCIC tiene sus inicios más de dos décadas atrás y con la nueva infraestructura y colaboraciones se convierte en Laboratorio Nacional. Finalmente, el LANMAC es el de más reciente creación y se encuentra en una etapa temprana y en vía de consolidación.

Además de la renovación y crecimiento de la planta académica e infraestructura en los últimos años, también se hicieron adecuaciones en la organización académico-administrativa del IF. Entre estos se encuentra la formación de comités internos y publicación de convocatorias de las plazas académicas para las nuevas contrataciones. Se formaron dos nuevos departamentos alrededor de los laboratorios LEMA y LANMAC, dando mejor equilibrio y representación a los académicos en los cuerpos colegiados. Se inició el programa de investigación del IF (PIIF) para apoyar líneas de investigación novedosas para la generación de conocimiento de frontera, con el objetivo de estimular la investigación en colaboración entre el personal académico teórico-experimental de diferentes departamentos. Se crearon las unidades de comunicación y vinculación.

El IF atraviesa por una etapa de renovación que requiere de un gran impulso académico y administrativo para asegurar la integración y consolidación del cuerpo académico de reciente ingreso, sin descuidar los logros alcanzados por el personal académico a lo largo de la historia del IF. Para esto, se han identificado un conjunto de retos a atender para el continuo mejoramiento en el cumplimiento de las funciones de la institución, las cuales se mencionan a continuación.

1.2 Misión y objetivos

El IF tiene como misión realizar investigación en física y áreas afines, formar personal altamente calificado a través de la docencia y la preparación de especialistas de alto nivel, difundir nacional e internacionalmente los conocimientos que se generan en el Instituto, e impulsar la difusión y vinculación de la ciencia con otras actividades culturales, intelectuales y productivas del país. Para cumplir con esta misión el IF tienen como objetivos:

- 1) Realizar investigación en física y áreas afines, mediante el desarrollo de programas de investigación originales y de calidad.
- 2) Participar activamente en labores docentes y de formación de personal altamente calificado, principalmente dentro de los programas de educación superior y posgrado de la UNAM, afines a la investigación que se realiza en el IF. Extender estas actividades a otras instituciones educativas del país y del extranjero.



- 3) Difundir los resultados de la investigación realizada en publicaciones, libros y otros medios de circulación nacional e internacional, así como, mediante la presentación de éstos en congresos y seminarios.
- 4) Contribuir al desarrollo de programas que atiendan problemas de interés nacional, con base en la investigación que se realiza en el IF.
- 5) Establecer y desarrollar infraestructura de laboratorios con la finalidad de impulsar la investigación y contribuir al desarrollo científico y tecnológico nacional.
- 6) Establecer convenios de vinculación para proporcionar asesoría científica, tecnológica y docente en las áreas de competencia del IF, a los sectores público y privado que así lo soliciten, de acuerdo con las políticas de la UNAM y la disponibilidad de personal.
- 7) Promover la comunicación y divulgación del conocimiento científico al público en general, mediante medios impresos y electrónicos, conferencias, ferias y otras actividades relacionadas con la física, entre otros.

1.3 Visión

La visión del IF es ser el referente a nivel nacional e internacional en la generación de conocimiento mediante la investigación, en la formación de personal altamente calificado y en la participando en temas prioritarios para el desarrollo de la nación, relacionados con la Física como disciplina.

2. DIAGNÓSTICO Y ORGANIZACIÓN

▶ 2.1 Diagnóstico General

Debido al crecimiento y revitalización de la planta académica e infraestructura, el número de líneas de investigación aumentaron de manera significativa a más de 175. Estas van desde las partículas elementales y cosmología, pasando por la óptica, información cuántica y materia condensada, hasta la física médica y aplicaciones de la radiación, entre otras. Esta amplia gama de líneas de investigación, así como el aumento de personal académico, ha llevado en cierta medida a la dispersión de esfuerzos, falta de espacios, financiamiento, servicios y comunicación interna. Ésta última es de suma importancia para detectar y corregir tempranamente problemáticas, identificar oportunidades y llegar a consensos. Esto es importante para la discusión y retroalimentación en aspectos relevantes de la vida académica como son las evaluaciones, las contrataciones, las promociones, la planeación, la generación de programas; así como la construcción de objetivos institucionales a mediano y largo plazo.

Las unidades de comunicación y vinculación son de reciente creación, por lo que se necesita incrementar sustancialmente sus actividades tanto al interior como al exterior del IF, no sólo en el ámbito académico, sino también con la sociedad, instancias de gobierno, el sector productivo e internacionalmente. Por otra parte, aún con el talento de académicos, infraestructura con la que se cuenta y líneas de investigación, el número actual de estudiantes no ha aumentado sustancialmente, principalmente a nivel posgrado. En consecuencia, cada investigador en promedio está graduando un estudiante de doctorado en

poco más de 11 años y uno de maestría aproximadamente cada cuatro años, limitando nuestra función sustantiva de formar profesionistas del más alto nivel en el área.

También a consecuencia del crecimiento se tiene la saturación en los servicios de las áreas de apoyo y parte del equipo institucional es insuficiente, siendo en algunos casos inadecuado y obsoleto. Esto pone en riesgo la continuidad y crecimiento en áreas sustantivas para el desarrollo óptimo de la institución, así como en el desarrollo y adquisición de habilidades científicas de vanguardia. Por ejemplo, la infraestructura general en servicios de internet tiene más de 10 años de haberse instalado lo que la ha vuelto insuficiente y obsoleta; al igual que la infraestructura de cómputo científico que debería atender a alrededor del 30% del personal académico. La última vez que se hizo una inversión importante en este último rubro fue hace un poco más de 15 años con un proyecto académico de vanguardia de computación en paralelo. Es importante señalar que el IF ha sido pionero en el uso y desarrollo del cómputo científico a nivel nacional.

Otra área sustantiva es el Laboratorio Central de Microscopía que apoya alrededor del 30% de los académicos, estudiantes de licenciatura y de diferentes posgrados, y que además da servicios a otros centros de investigación y a la iniciativa privada. Sin embargo, su principal equipo tiene cerca de 20 años de antigüedad.

La microscopía electrónica en el IF ha generado la escuela más importante en esta área a nivel nacional y además cuenta con reconocimiento internacional.

La falta de renovación de infraestructura básica como cómputo y microscopía, entre otras áreas, genera retraso en la actualización en técnicas y habilidades científicas de vanguardia, poniendo en riesgo los avances logrados hasta ahora y dejando en desventaja al personal académico y estudiantes para realizar investigación que genere conocimiento de frontera en física básica y aplicada. Es importante destacar que actualmente la conjunción de diferentes habilidades técnicas es esencial para generar conocimiento científico de mayor profundidad.

Otra área de apoyo importante es el taller mecánico central, que debe atender a más del 50% de los académicos y es parte fundamental para la física experimental y el mantenimiento general de equipos y edificios. Es importante señalar que estos apoyos resultan indispensables para coadyuvar a los laboratorios a generar innovación, elemento indiscutible para realizar investigación de frontera y eventualmente generar tecnología propia. Actualmente el taller requiere de una reorganización, separando los trabajos de conservación de equipo y edificios, del desarrollo de instrumentación científica. La instrumentación científica requiere de varias etapas: I) la concepción intelectual por investigador(es) y técnico(s); II) diseño mecánico y electrónico por los técnicos en los laboratorios de diseño y electrónica; III) la maquinación de piezas en el taller y de los desarrollos electrónicos; y finalmente IV) la implementación en los laboratorios. Esta labor requiere de trabajo en equipo, actualización de técnicas, profesionalización y capacitación de su personal. También

se debe aumentar sustancialmente las capacidades en electrónica y en diseño, las cuales son áreas pequeñas para el total de usuarios y por otro lado son imprescindibles para realizar instrumentación científica. De los 55 técnicos académicos, 24 de ellos se encuentran asociados a estas unidades de apoyo, incluyendo la biblioteca y la unidad de comunicación.

Por otra parte, como consecuencia del crecimiento en personal académico, la saturación en las capacidades de apoyo administrativo y la falta de sincronía de las diferentes instancias de evaluación hace que el número de trámites sea muy elevado, en este sentido es necesario fortalecer el área administrativa y consensar con ayuda de los órganos colegiados del instituto las formas de evaluación de los académicos.

El conjuntar experiencia y juventud para alcanzar un mejor nivel académico aprovechando el gran camino recorrido y la revitalización de ideas y técnicas nos impone como reto el aumentar considerablemente la comunicación interna. Otro reto es el establecer coherencia entre el gran número de líneas de investigación para establecer una visión del instituto y objetivos a mediano y largo plazo, que proporcionen una guía a las nuevas generaciones de investigadores. La falta de una visión institucional puede retrasar el desarrollo de los jóvenes y frenar a los académicos ya consolidados. En la mayoría de las áreas temáticas hay pocos objetivos establecidos, lo que hace un poco azarosa la planeación y por lo tanto el crecimiento. Por otro lado, la mayor parte del quehacer científico se determina anualmente en los planes y evaluaciones individuales, con poca reflexión y visión conjunta a largo plazo.

Para fortalecer las actividades académicas ante el contexto de cambio en el país, un reto de vital importancia será el buscar fuentes de financiamiento diferentes a las habituales. Además, se debe de considerar que la inversión en el desarrollo de la física es casi siempre superior a la de otras disciplinas debido al grado de tecnología e innovación que se debe alcanzar para la generación de conocimiento.

Por tal motivo, de manera paralela se debe aumentar la presencia de la institución en diferentes sectores que nos permitirán identificar y captar nuevas fuentes de financiamiento, posicionarnos en lugares importantes de toma de decisiones y formar parte de la cultura del país. Son necesarios programas y proyectos estratégicos en temas de interés que nos permitan tender estos puentes. Esto también contribuirá a atraer más estudiantes y a su vez a identificar bolsas de trabajo para nuestros egresados, lo que a largo plazo podría convertirse en un círculo virtuoso.

También es importante incrementar de manera institucional nuestra presencia internacional. Esto nos permitiría establecer con mayor claridad nuestros objetivos, establecer relaciones estratégicas y acceder a fuentes de financiamiento internacionales. La mayor fortaleza del IF es sin duda su personal, el cual realiza sus labores de manera destacada y comprometida. El

reconocimiento cultivado por varias generaciones de investigadores. Cada investigador es libre de desarrollar sus propios temas de investigación y de establecer colaboraciones y proyectos para su desarrollo.

En años recientes, la investigación básica y aplicada requiere de un conjunto de estudios más especializados, en ocasiones necesitando de colaboraciones nacionales e internacionales. De esta forma, el quehacer científico se ha comenzado a organizar de manera diferente: con la formación de grupos, se han alentado las colaboraciones teórico-experimentales y se han favorecido las grandes colaboraciones internacionales. El contexto de cambio del quehacer científico mundial nos impone una visión de mayor colaboración tanto interna como externa. Este tipo de organización no está presente del todo en el IF, ya que hay pocas discusiones académicas, consensos y demandas generadas en el seno de los departamentos. Los programas académicos generalmente emanan de esfuerzos individuales. Tampoco se discuten las necesidades y planes docentes que nos permitan captar más estudiantes, dotarlos de mayores oportunidades para concluir sus estudios y de actualizar y discutir nuestra oferta académica.

Por otra parte, se cuenta con reglamentos, lineamientos y procedimientos que dan certidumbre a su organización académico-administrativa. Con el establecimiento de los Proyectos Internos del Instituto de Física (PIIFs) se comenzó a reflexionar en objetivos académicos, integrar la planta académica y optimizar en algo la infraestructura. Sin embargo, los PIIFs cuentan con periodos de tiempo cortos de ejecución los que no permite consolidar las incipientes colaboraciones, ni tampoco avanzar sustantivamente en la generación de conocimiento de frontera.

Otra fortaleza es que el IF es la única institución del país que cuenta con cuatro Laboratorios Nacionales, lo que le da una gran experiencia en el desarrollo y puesta en marcha de proyectos de infraestructura científica de gran envergadura.

En resumen, el IF cuenta con una riqueza humana y física que lo coloca en un lugar privilegiado en México, con un potencial que tenemos que aprovechar a su mayor capacidad posible.

Otro factor importante es el cambio en el financiamiento externo. Por ejemplo, en el CONACyT, el financiamiento a la ciencia cada vez se encuentra más focalizado en programas específicos que requieren de colaboraciones internas, nacionales e internacionales. Esto nuevamente reduce nuestras posibilidades de ser exitosos en conseguir financiamiento mediante los proyectos tradicionales. Por otro lado, los ingresos extraordinarios por servicios son difíciles de encontrar en un instituto cuyo objetivo es realizar investigación científica básica en física, puesto que regularmente mucha de nuestra metodología va más adelante que las necesidades de las empresas actuales en México.

La época actual también conlleva otros retos como el desarrollo de técnicas e instrumentación en periodos de tiempos cortos. La ciencia se ha vuelto más dinámica desde su concepción, desarrollo, implementación y comunicación. Es difícil enfrentar estos cambios si no se optimizan los recursos, si no unen esfuerzos. Además, cada vez surge la necesidad de que la ciencia sea un pilar para la solución en problemas en temas de relevancia universal como: ambiente, energía, salud, desarrollo sustentable, sociedad y desarrollo tecnológico. Por todo esto, el IF necesita de un impulso académico fuerte, sensible y con una visión amplia de la física actual y de las circunstancias que nos rodean.

2.2 Organización Actual

Para el desarrollo de su labor académica el IF tiene una estructura departamental, apoyada en su funcionamiento y planeación de manera interna por el Consejo Interno y la Secretaría Académica, y de manera externa por la Comisión Dictaminadora y la Comisión Evaluadora de Estímulos PRIDE. Además, cuenta con la Secretaría de Cómputo y Telecomunicaciones, Secretaría Taller y Mantenimiento y Laboratorio de Electrónica, así como la Secretaría Administrativa. En cada una de estas Secretarías se tienen unidades de apoyo a la investigación. También forman parte de esta estructura el Laboratorio Central de Microscopía y la Oficina de Seguridad Radiológica.

2.2.1 Organización Académica

Los ocho departamentos de investigación que conforman al IF son:

- | | |
|------------------------|--|
| 1) Estado Sólido | 2) Física Cuántica y Fotónica |
| 3) Física Experimental | 4) Física Nuclear
y Aplicaciones de la Radiación ¹ |
| 5) Física Química | 6) Física Teórica |
| 7) Materia Condensada | 8) Sistemas Complejos |

La distribución de investigadores por departamento, categoría, nivel de PRIDE y SNI, así como por edad, se muestran en los histogramas en el apéndice 1, en él se incluyen los cinco investigadores con cátedras CONACYT adscritos al IF. Podemos observar que la distribución del número de investigadores por departamento es casi homogénea, excepto en los departamentos de física teórica y experimental. Estos son los dos departamentos más antiguos en el IF.

1. Departamentos de investigación creados en el año 2017 en la administración 2011–2019 del Dr. Torres.

La mayor parte de los investigadores del IF se encuentra en la categoría más alta, eméritos, titulares C y B, con alrededor del 65% del total. Esta proporción también se refleja en los niveles más altos del SNI y PRIDE, ambos con alrededor del 69% del total de investigadores del IF. Esto sugiere una buena combinación entre experiencia con renovación, lo cual es un potencial que debemos aprovechar. La edad promedio de los investigadores es de 59 años, la cual se ha mantenido en los últimos años debido a los 43 jóvenes académicos que se incorporaron en la administración anterior del IF, lo cual muestra la renovación de su planta académica. Sin embargo, el promedio de edad sigue siendo ligeramente mayor al del subsistema de investigación de la UNAM. Finalmente, la distribución de académicos por sexo es de alrededor de 82% hombres contra un 18% mujeres, el cual requiere de atención para llegar a un equilibrio. Sin embargo, esto requiere de programas de inclusión que comenzaremos a implementar en esta administración.

Por lo que respecta al número de técnicos académicos, actualmente son 55, con edad promedio de 53 años, los cuales están distribuidos en todos los departamentos, excepto Física Teórica; así como en las unidades de apoyo a la investigación. Cabe indicar que el número de técnicos académicos ha crecido muy poco en los últimos 20 años, considerando que en el año 2000 el número era de 52. Por otro lado, el número de laboratorios de investigación creció considerablemente. Alrededor del 44% de los técnicos académicos se encuentran en las categorías más altas (titulares C y B) y la gran mayoría (78%) se encuentra en los niveles más altos del PRIDE. Cabe destacar que siete de los técnicos académicos pertenecen al SNI, siendo uno nivel II, cuatro niveles I y dos candidatos. Parte importante del desarrollo académico del IF es la formación de jóvenes promesas para desarrollar investigación científica, como se observa en el siguiente histograma en el apéndice 1, en los últimos tres años hubo una disminución significativa de becarios posdoctorales, es por ello que se deben buscar políticas y fuentes de financiamiento para incorporar más jóvenes recién doctorados al IF.

Indudablemente es importante reflexionar sobre los Campos de Conocimiento del IF (CCIF) y el número de áreas generales de investigación que se trabajan en el Instituto, las cuales se muestran en el siguiente cuadro. Anteriormente se definieron los siguientes CCIF: I) Altas Energías, Física Nuclear, Astropartículas y Cosmología; II) Óptica y Física Cuántica; III) Nanociencias y Materia Condensada; y IV) Física Aplicada y Temas Interdisciplinarios. Cada uno de estos campos tiene áreas de investigación, que a su vez contienen varias líneas de investigación. Los cuatro Laboratorios Nacionales están asociados a los CCIF I, II y IV. Mientras que el CCIF III tiene asociado dos Laboratorios Universitarios y el CCIF I otro más. Se realizó una labor importante al agrupar las líneas de investigación en áreas y campos, lo que en un futuro ayudará a crecer y renovarse de manera congruente y con metas y objetivos a largo plazo. Sin embargo, se debe trabajar para encontrar mayor claridad de cómo alcanzar dichas metas. En la siguiente sección abordaremos las líneas de investigación asociadas a estos campos de conocimiento.



Diagrama de campos de conocimiento del Instituto de Física

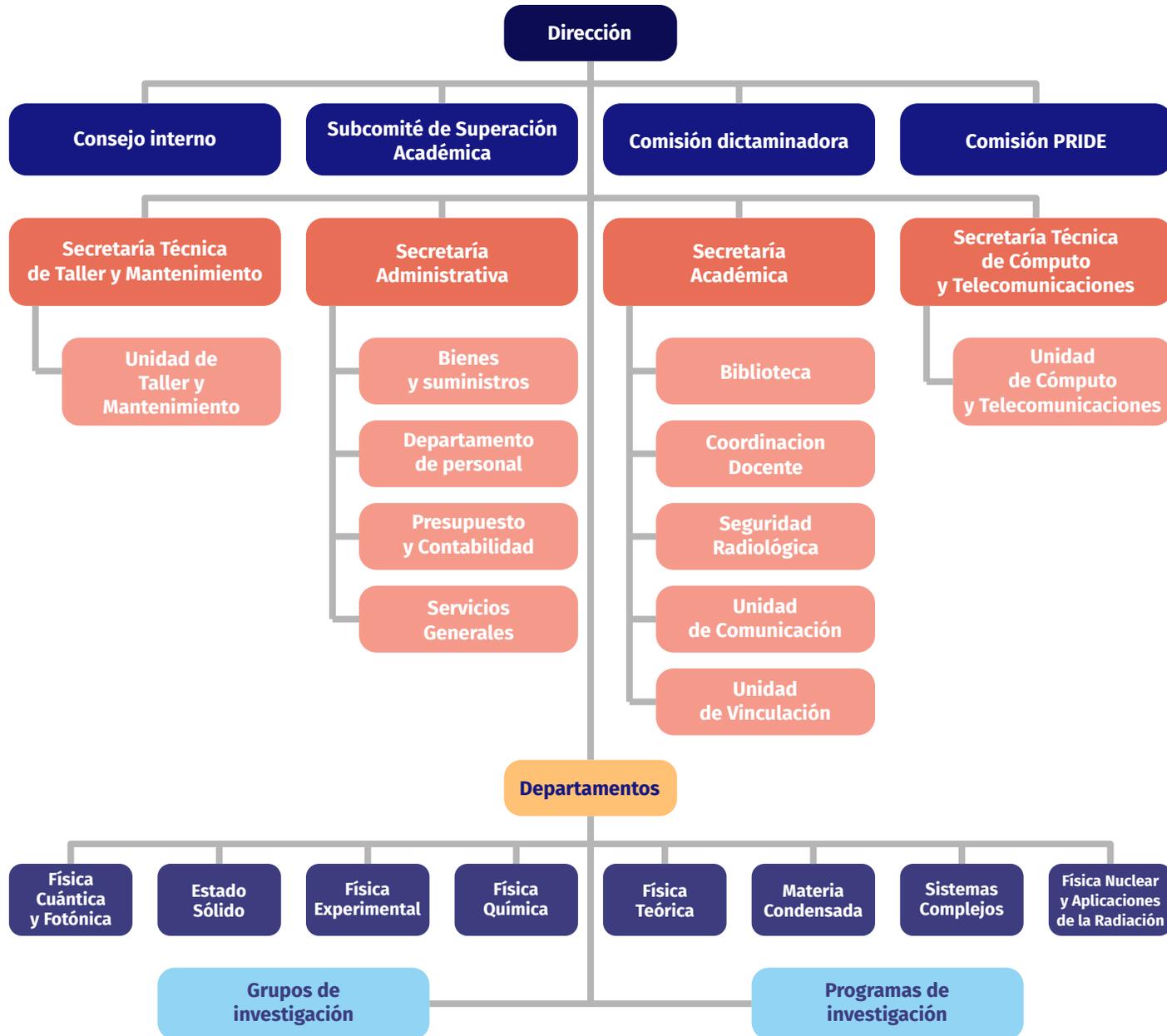
2.2.2 Organigrama Actual

El organigrama representa la estructura del IF y describe sus funciones competenciales. En primer lugar, se tiene la Dirección, la cual pone a consideración las contrataciones, recontractaciones y promociones académicas a dos órganos colegiados: el Consejo Interno y externamente a la Comisión Dictaminadora. Por otro lado, se encuentra la Comisión de Evaluación del PRIDE, quién evalúa el desempeño por periodos que comprenden varios años.

En su funcionamiento, la Dirección, el trabajo de investigación, docencia y difusión se apoya en cuatro Secretarías: Académica, Administrativa, Técnica de Taller y Mantenimiento, y la Técnica de Cómputo y Telecomunicaciones. Posteriormente, se muestra la estructura actual de las diferentes Secretarías de apoyo a la investigación. La estructura departamental se encuentra en la parte inferior, con ocho departamentos de investigación los cuales en los últimos cuatro años se apoyaron en los Programas de Investigación. Adicionalmente el departamento de Física Experimental tiene una organización interna por Grupos de Investigación.

En este organigrama del 2015 se muestran algunas unidades de apoyo a la investigación las cuales se describen brevemente en este documento. Si embargo, falta mencionar que el Laboratorio de Electrónica, el cual es una unidad de apoyo indispensable para el desarrollo y mantenimiento de la instrumentación científica, no se encuentra y debe tener una dirección clara dentro de la organización del IF para asegurar su buen funcionamiento.

ORGANIGRAMA IFUNAM



3. DESCRIPCIÓN Y PERSPECTIVAS

▶ 3.1 Departamentos de Investigación

En el marco de la convergencia de las acciones que propone el IF en cuanto al impulso y fortalecimiento de la investigación básica y aplicada, se realizaron reuniones en los primeros meses de la actual administración. A partir de estas reuniones se elaboraron diagnósticos y perspectivas por departamentos de investigación. Se busca con éstos potenciar capacidades, establecer nuevas líneas de investigación, así como potenciar la interdisciplina, así como la relación con los sectores productivo y público.

A continuación, se describe cada uno de éstos con la información proporcionada por los jefes de departamento. Es importante hacer notar que las perspectivas que se describen son susceptibles a sufrir modificaciones a corto, mediano y largo plazo debido a diversas causas de índole interno y externo, como es una posible situación de volatilidad económica, así como otros factores de estabilidad económica y social del país. Por todo esto, es difícil determinar todo el potencial de alcance que cada una de las áreas de investigación podrán lograr.

3.1.1 Estado Sólido

Después de la reestructuración de los departamentos llevado a cabo en el año 2017, el Departamento de Estado Sólido quedó conformado con 15 Investigadores y tres Técnicos Académicos. En este departamento se realiza investigación sobre, propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas de sistemas cristalinos y amorfos, orientada de manera especial a materiales nanoestructurados con aplicaciones en fotónica y nanociencia. Otras líneas de investigación son la adsorción de átomos y moléculas individuales en superficies; influencia en la respuesta óptica no lineal de nanocompositos metálicos y puntos cuánticos; propagación de ondas en medios inhomogéneos; interacción radiación materia en sólidos cristalinos, entre otras. En el Apéndice B se detallan las principales áreas de investigación del departamento, se enlistan otras líneas de investigación que se desarrollan y se mencionan los siete laboratorios con los que cuenta.

A mediano y largo plazo el departamento tiene como perspectivas las siguientes, las cuales se detallan en el apéndice. La propuesta actual, orientada al uso de nanoestructuras de diversos tipos y configuraciones, obliga a una adaptación, en principio relacionada con modelos que predigan el comportamiento de estos sistemas y con su necesaria confirmación por los métodos experimentales espectroscópicos ópticos con los que se dispone. La respuesta que se espera de los sistemas bajo estudio puede ser lineal o no lineal.

La sensibilidad de los equipos con los que disponga el IF debe ser suficientemente alta como para detectar estas repuestas. A corto y mediano plazo, se pretende desarrollar experimentos para medir magnitudes que caractericen a la conducción eléctrica y la magnetización, orientadas principalmente a sistemas mono y bidimensionales, y a sistemas del orden nanométrico, y poder así, acercarse a los pocos modelos existentes de transporte eléctrico y magnetización en este tipo de sistemas.

A corto plazo es conveniente renovar equipos y configuraciones experimentales para obtener resoluciones ópticas adecuadas, en especial, estudiar sistemas nanoestructurados. Por otro lado, las líneas de nanofotónica, plasmónica y óptica cuántica son fundamentales en el desarrollo, a corto, mediano y largo plazo, de nuevos dispositivos optoelectrónicos que permitan, entre otras cosas, continuar con la aplicación de la Ley de Moore y con el desarrollo de computadoras cuánticas. En la actualidad, la caracterización cristalográfica de estos materiales, en el IF, se restringe a la determinación del tipo y tamaño de red de Bravias, del alcance del orden de la periodicidad traslacional y del acercamiento a la determinación de su estructura.

Se planea contar con la capacidad de determinar estructuras cristalográficas a partir de datos de difracción de rayos X por monocristales. Se tiene contemplado avanzar en el desarrollo de configuraciones apropiadas de equipamiento para poder obtener información experimental de los objetivos propuestos.

3.1.2 Física Cuántica y Fotónica

Durante la reestructuración de los departamentos llevado a cabo en el año 2017, se creó el departamento de Física Cuántica y Fotónica, el cual quedó integrado por 15 Investigadores y dos Técnicos Académicos. El objetivo del departamento es realizar investigación experimental y teórica de vanguardia sobre las propiedades fundamentales de sistemas cuánticos en general, de la luz, y el acoplamiento de ésta con la materia. Las líneas de investigación que se cultivan en este departamento dan lugar a una variedad temática importante que abarca áreas como mecánica cuántica y semiclásica, óptica, estructura de la materia, interacción radiación-materia, física estadística y física de la información, entre otros.

El departamento cuenta con cuatro laboratorios actualmente, uno de ellos ya ha comenzado a dar resultados de impacto internacional, mientras que los otros se encuentran en fase de obtener sus primeros resultados relevantes que abordan las áreas arriba descritas y uno más se encuentra en desarrollo. Todos están en condiciones de consolidación. En lo que respecta a la parte teórica, el departamento tiene investigadores tanto maduros como jóvenes, con experiencia e impacto en diversas áreas de la física atómica y de muchos cuerpos. En el Apéndice B se describen las tres principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que también se desarrollan. Una de las principales fortalezas del departamento consiste en la integración de sus componentes teóricos y experimentales. Es un departamento joven y de reciente creación, trabajando de manera articulada en temas de frontera.

Dentro de las áreas de investigación del departamento está el control óptico de la materia, el cual incluye temas como la micromanipulación óptica y acústica, enfriamiento láser, física atómica y átomos de Rydberg, campos electromagnéticos estructurados y óptica singular. Un aspecto relevante de este tema es la respuesta dinámica de la materia a campos luminosos incidentes estructurados, no sólo en el régimen de óptica lineal sino también en el régimen no-lineal. A una escala más pequeña la descripción de la interacción entre átomos y luz requiere del conocimiento detallado tanto de la componente atómica como de su contraparte óptica.

El panorama e intereses del departamento dentro del área de materia cuántica, se tiene muestran una gama muy amplia: desde aspectos básicos de la física atómica, tanto a nivel individual como de muchos cuerpos, que involucran conceptos fundamentales de las fluctuaciones cuánticas, los sistemas altamente correlacionados, hasta llegar al estudio de gases y fluidos tanto de carácter bosónico como fermiónico.

Cabe mencionar la relevancia de los logros experimentales en este campo de la condensación de Bose-Einstein (BEC) como la del estado Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS), paradigmas

fundamentales de la materia cuántica desde hace muchos años. Finalmente, el área de óptica e información cuántica contempla escenarios adecuados para llevar a cabo estudios sobre procesos, almacenamientos y comunicación que, además de generar novedosas líneas de investigación, tienen el potencial de generar tecnología de vanguardia basada en el manejo de la información. Además de las aplicaciones anteriores son también útiles para investigar aspectos fundamentales de la mecánica cuántica.

3.1.3 Física Experimental

En el Departamento de Física Experimental se utilizan y diseñan técnicas experimentales basadas en radiación para realizar investigación básica y aplicada. Por ejemplo, se estudia el uso de la radiación en medicina, en la generación de imágenes biomédicas y en el estudio y conservación del patrimonio cultural.

Se investiga la modificación de materiales por iones y se desarrolla instrumentación para estudiar la formación de astropartículas y antimateria, obtener imágenes a partir de radiación atmosférica, y detectar radiación cósmica y gamma de alta energía. El departamento de Física Experimental está integrado por 23 Investigadores y nueve Técnicos Académicos, los cuales están organizados en cinco grupos de trabajo:

- Grupo de Fenómenos en Sistemas Microestructurados (FESMI)
- Grupo de Dosimetría y Física Médica (DOSIFICAME)
- Laboratorio de Imágenes Biomédicas (LIB)
- Grupo de Astropartículas y Astrofísica de Altas Energías (HAWC)
- Grupo de Física Nuclear y Sub-nuclear (FINSU)

Dentro de estas áreas el grupo FESMI se realiza investigación sobre los procesos y efectos de la interacción de iones energéticos en materiales sólidos. El grupo ha ampliado sus capacidades de técnicas de análisis no destructivo con haces de iones, al desarrollar técnicas no-destructivas y sistemas portátiles de caracterización; esto permitió la creación del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC). Esto permite tener como perspectivas el continuar con el estudio de las propiedades ópticas lineales, no lineales y fotoluminiscentes de nanopartículas metálicas y semiconductoras sintetizadas por implantación de iones en dieléctricos transparentes. En cuanto las aplicaciones, el LANCIC tiene un ámbito de oportunidad muy importante por la riqueza cultural del país y un alcance a nivel nacional que permite vislumbrar que dentro del mediano plazo un posible centro internacional de desarrollo de metodologías basadas en imagenología y espectroscopias, y un centro regional con nexos importantes a nivel internacional, con un impacto muy importante en la formación especializada de recursos humanos.

El área de Física Médica cuenta con dos grupos de investigación. DOSIFICAME, constituido por cuatro investigadores y dos técnicos académicos, y por el LIB constituido por tres investigadores y un técnico académico.

El grupo DOSIFICAME realiza investigación básica y aplicada sobre el transporte de la radiación ionizante y su depósito de energía en materia, y las interacciones de la radiación no-ionizante con tejido biológico con el fin de optimizar las aplicaciones médicas de estas radiaciones. A mediano plazo se pretende estudiar procesos de depósito de energía por electrones secundarios de baja energía en la fase condensada de materiales dosimétricos expuestos a radiación ionizante, usando métodos computacionales de primeros principios; este programa podría ser de relevancia internacional. A largo plazo se espera haber establecido un modelo que conjunte los resultados teóricos y experimentales del efecto de la ionización en la respuesta de materiales dosimétricos en fase condensada y se trabajará en otros asuntos relacionados surgidos en el trabajo de los años previos. También se seguirá trabajando en teranóstica del cáncer aplicada a procesos clínicos, estudios con relevancia internacional. Se desarrollará la técnica de ultrasonido cuantitativo con importantes aplicaciones médicas.

El grupo LIB realiza investigación en física de radiaciones aplicada a biología y medicina con el fin de desarrollar instrumentación y técnicas de imagen molecular, simulación Monte Carlo del transporte de radiación ionizante en materia y sus aplicaciones en imagenología y radioterapia, entre otras. El grupo LIB tiene potencial en el desarrollo de instrumentación y se considera que a mediano plazo podrá concluir la construcción de diversos dispositivos para implementar técnicas de imagen molecular y tomografía de rayos X competitivos en su área.

Finalmente, el área de Física de Altas Energías desarrolla investigación experimental con dos grupos HAWC y FINSU. HAWC se enfoca al estudio del universo no térmico mediante la detección de rayos cósmicos y gamma de la más alta energía, mientras que FINSU se enfoca a la física nuclear, física de partículas y astropartículas; desarrollo de instrumentación original para investigación básica de frontera, como es la antimateria, la materia oscura, entre otras, así como sus aplicaciones.

HAWC, éste será operativo por lo menos hasta el 2023. Se evaluará su potencial en el 2021 para este fin. En la colaboración se publican del orden de 20 artículos por año. En agosto 2019 se formó una nueva colaboración para el *Southern Wide field-of-view Gamma ray Observatory* (SWGGO) para definir cómo y dónde construir un nuevo observatorio en el hemisferio sur (en los Andes) que sea una versión mejorada de HAWC.

Las perspectivas futuras del grupo FINSU en el corto y mediano plazos incluyen concluir el análisis de los datos sobre la producción de deuterones y antideuterones de AMS-02, el cual se encontrará al final de su vida útil en un medio plazo. Más información sobre las áreas de

investigación que desarrollan estos grupos de investigación y los laboratorios se encuentran en el apéndice B. También se discuten con más detalle las metas a mediano y largo plazo.

3.1.4 Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación

El Departamento de Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación se creó en el año 2017, en él se realiza principalmente investigación experimental en Física Nuclear, Interacción Débil, Materia Oscura, Neutrinos y Aplicaciones de la Radiación Natural e Inducida por Aceleradores. Medida ultra precisa de concentraciones de isótopos radioactivos, cosmogénicos y antropogénicos: ^{14}C , ^{10}Be , ^{26}Al , ^{129}I y Pu, para datación y otras aplicaciones. Termodinámica en y fuera de equilibrio. Está integrado por 12 Investigadores y cinco Técnicos Académicos. En el apéndice B, se describen las dos principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que se desarrollan. También se discuten las metas a mediano y largo plazo.

El área de Física Nuclear y Modelo Estándar se ha desarrollado desde hace décadas en el IF, en particular este departamento se enfoca en el aspecto experimental. La infraestructura de laboratorio requerida para estos estudios es muy importante: aceleradores de partículas y una gran variedad de dispositivos para la detección de radiación. Existe infraestructura esencial, como aceleradores de iones, al igual que instrumentación periférica para los experimentos.

Una de las características de esta área es la participación en grupos de investigación en países como Alemania, Italia, España, EUA, Canadá, entre otros. Como perspectiva a corto plazo se tiene el explorar reacciones con haces de deuterio y protones, además de una serie de blancos gaseosos, como el nitrógeno y el oxígeno, utilizando el Jet Supersónico sin ventanas. En paralelo, se espera poder continuar la realización de mediciones en laboratorios internacionales para el entendimiento de la estructura y la dinámica nuclear de núcleos radiactivos y débilmente ligados.

Actualmente se desarrollan, y se tienen compromisos a mediano plazo, con el fin de desarrollar dispositivos electromagnéticos para la manipulación y transporte de espín de neutrones y otras especies, en experimentos que buscan posibles interacciones exóticas, mejorar nuestro entendimiento de la interacción débil hadrónica así como evidencia de violaciones a la simetría CP en la interacción fuerte.

Adicionalmente, se inicia el desarrollo del laboratorio subterráneo en Mineral del Chico, ubicado en el estado de Hidalgo, para física aplicada y fundamental, además de actividades educativas.

En el área de Aplicaciones de la Radiación el IF cuenta con el Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA), el cual funciona desde junio del 2013. En este laboratorio se hacen estudios arqueológicos, forenses, ambientales, entre otros. Aquí hay una amplia colaboración con grupos nacionales e internacionales. En el mediano plazo se planea continuar con la ejecución de programas en disciplinas como Arqueología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Forenses.

Debe mantenerse la certificación bajo las Normas ISO9001-2015 y 17025 para la datación con ^{14}C . Se espera continuar estableciendo colaboraciones con distintos grupos para el análisis continuo de muestras de todo tipo: agua, hielo, aerosoles, sedimentos y rocas. Con ello se espera que el LEMA se convierta en el referente nacional para medidas en AMS.

3.1.5 Física Química

El departamento está formado por 14 investigadores y tres técnicos académicos, que se integran en cinco grupos experimentales y seis grupos teóricos. El objetivo del departamento es realizar investigación de frontera, experimental y teórica, en temas de materia condensada blanda, estado sólido, nanociencias y física química.

Las líneas de investigación que se cultivan en el departamento abarca el estudio de la materia a la escala nano, meso y macroscópica, asociada a temas de frontera de la física, tales como: Autoensamblaje supramolecular y sus consecuencias en el comportamiento viscoelástico en fluidos; transferencia de calor en sistemas plasmónicos; actividad óptica de nanopartículas metálicas con ligandos orgánicos quirales; plasmónica y fenómenos físicos y químicos en superficies; nanocúmulos bimetalicos e influencia del substrato en las propiedades de cúmulos metálicos soportados; tribología; estructura de banda de materiales compuestos a base de colestéricos elastómeros y nano inclusiones metálicas; física de coloides; superconductores anisotrópicos; entre otros se describen las tres principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que también se desarrollan en él.

Las perspectivas de esta área de investigación a mediano plazo incluyen el desarrollo de las nuevas metodologías, tales como multiescala para atacar propiedades ópticas, de transporte de sistemas grandes, así como cinética y dinámicas a tiempos más largos, entre otras. El área de investigación está compuesta por 11 investigadores con líneas independientes, pero que se intersectan, lo que permite estudiar estos fenómenos físicos desde una aproximación multidisciplinaria teórica-experimental.

Un objetivo específico es crear mayor sinergia entre los grupos para atacar desde diferentes perspectivas los problemas que se abordan. Consolidar y generar nuevas interacciones entre los diferentes integrantes del área con énfasis en estudios teóricos y experimentales en: a)

Acoplamiento fuerte entre luz y materia; b) Catálisis por átomos individuales; c) Propiedades electrónicas de superficies 2D; d) Propiedades optoelectrónicas de puntos cuánticos de semiconductores; e) Termodinámica fuera de equilibrio. En un mediano plazo se espera finalizar el estudio de la obtención de las escalas mesoscópicas obtenidas por micro-reología y su comparación con los resultados obtenidos por técnicas de dispersión de rayos X o neutrones a ángulos bajos. Finalizar con el estudio de la formación y estabilidad de las bandas en la dirección del gradiente en sistemas formados por micelas tubulares. Finalizar el estudio de la interacción entre partículas coloidales atrapadas en intercaras. Estudiar las consecuencias del arresto dinámico de partículas coloidales en intercaras.

3.1.6 Física Teórica

El departamento realiza labores de investigación de fenómenos físicos que van desde lo más fundamental hasta lo aplicado, así como la enseñanza y difusión de éstos en las siguientes áreas: Partículas elementales, teoría de campos, astropartículas y cosmología; Fenómenos colectivos clásicos y cuánticos; Física Atómica, Nuclear y Molecular; Mecánica Cuántica y Física Matemática, y la relación entre ellos. El departamento, está integrado por 24 investigadores. Adicionalmente, se cuenta con investigadores posdoctorales y estudiantes asociados, tanto de posgrado como de licenciatura. Las tres principales áreas de investigación que se desarrollan son: Partículas Elementales, teoría de campos, astropartículas y cosmología, Física cuántica y física matemática, Materia Condensada, Fenómenos Colectivos y Temas Interdisciplinarios.

El grupo de Altas Energías y Cosmología se está consolidando con visibilidad a nivel internacional. Se han iniciado colaboraciones en la interfase entre la teoría y el experimento en varias áreas: astropartículas, medidas de precisión, cosmología, física hadrónica, neutrinos, durante los siguientes años se espera: a) Fortalecer la incidencia en las tres fronteras de la investigación de partículas elementales: de la energía, de la intensidad y la cósmica, así como las distintas teorías que puedan ser probadas en dichos escenarios; b) Como parte del punto anterior, se requiere fortalecer las colaboraciones con los grupos experimentales tanto a nivel local como con colaboraciones internacionales. Entre estas se encuentran a futuro el CEPC, HL-LHC y el FCC-ee; c) Fortalecer las líneas de investigación experimentales y observacionales asociadas a temas de Cosmología y Astropartículas; d) Fortalecer el enfoque de métodos contemporáneos de Materia Condensada en Física de Partículas Elementales, tanto en aspectos perturbativos como no-perturbativos; e) Se espera que el grupo se consolide como un referente a nivel nacional.

La física cuántica ha heredado problemas de fundamentación que continúan siendo de interés y relevancia para una buena comprensión de los fenómenos cuánticos. Las investigaciones teóricas en este campo cobran actualidad y adquieren perspectivas novedosas frente a los avances experimentales a escalas de partículas individuales,

dimensiones nanométricas y tiempos de atosegundos. Por otro lado, algunos aspectos modernos de mecánica cuántica incluyen el estudio de los operadores Hamiltonianos en el espacio de parámetros de los sistemas, con aplicaciones en física molecular, atómica, nuclear y de partículas elementales.

A mediano plazo se espera: continuar desarrollando la fundamentación de la teoría cuántica tanto desde la perspectiva de la electrodinámica estocástica como desde nuevos enfoques. Se continuará y extenderá la investigación de problemas actuales y fundamentales relacionados con las correlaciones cuánticas, el límite cuántico-clásico, la dualidad partícula-onda, la descripción en el espacio fase de la mecánica cuántica, el origen y la naturaleza del espín y otras propiedades emergentes, así como con las líneas de investigación que emerjan de los avances más recientes en el área. Como parte del programa de reforzamiento del campo, se colaborará en el desarrollo e implementación del paquete de materias de Mecánica Cuántica para la licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias.

Una de las líneas a desarrollar en el área de Materia Condensada es la de predecir las propiedades de los sistemas de muchos cuerpos cuánticos interactuantes y a cualquier densidad, lo cual ha sido posible mediante la simulación por computadoras usando métodos de Monte Carlo Cuántico. Dada la relevancia y crecimiento exponencial de las simulaciones moleculares en los últimos años, resulta primordial realizar investigación en los métodos DIVIDE-AND-CONQUER, usando la última tecnología de hardware, como lo son las tarjetas gráficas, GPUs, e incluyendo inteligencia artificial. Desarrollar una línea en aspectos de teoría del campo usando tanto métodos de materia condensada como de partículas elementales para lograr una retroalimentación y colaboración entre las dos áreas.

El estudio de fenómenos en materia condensada y en partículas elementales se ha visto beneficiado por el desarrollo de metodologías y conceptos compartidos. El avance y comprensión de las propiedades de nuevos materiales, así como de diversos aspectos en cosmología y física de partículas elementales requerirá apoyar el desarrollo de grupos de trabajo dedicados al estudio de las interrelaciones entre dichas disciplinas científicas. Se espera desarrollar esta área tanto en aspectos teóricos como en aplicaciones en el mediano plazo.

3.1.7 Materia Condensada

El departamento fue creado a finales de la década de los 70s. Actualmente su planta académica está constituida por 16 investigadores, nueve técnicos académicos y dos laboratoristas.

Los académicos del Departamento de Materia Condensada (DMC) realizan investigación teórica y experimental sobre la estructura y propiedades de la materia en su estado

condensado. Adicionalmente participan en la formación de recursos humanos impartiendo cursos regulares y dirigiendo tesis a nivel posgrado y de licenciatura.

Entre las investigaciones que se realizan en el DMC se tiene el análisis estructural y cristalográfico de materiales por difracción de rayos X y de electrones, así como el estudio de las propiedades estructurales de materiales nanométricos, sistemas unidimensionales, películas delgadas y biomateriales. Se estudian las propiedades ópticas, térmicas, electrónicas, mecánicas y magnéticas de materiales, la producción y caracterización de películas delgadas de moléculas conductoras, así como el diseño y síntesis de contactos conductores transparentes y películas delgadas con potenciales aplicaciones en áreas de ahorro de energía. En el campo de las nanoestructuras se estudia además de la estructura y síntesis de nanopartículas, los cementos de alto desempeño mecánico con nanopartículas de minerales. Adicionalmente, dentro de las líneas de investigación que se desarrollan en el DMC, se encuentran los estudios y aplicaciones de las radiaciones ambientales, dosimetría ambiental, contaminantes radiológicos ambientales en agua, aire, suelo y alimentos, metodología de trazas nucleares en sólidos, termoluminiscencia, interacción de la radiación ionizante con materiales, así como el estudio de instrumentación electrónica nuclear y aplicaciones. Las dos principales áreas de investigación que se desarrollan en el DMC son las siguientes.

Dada la importancia del grafeno en el contexto internacional, de manera estratégica se han creado institutos de investigación dedicados a su estudio, tanto desde el punto de vista de la ciencia básica como de sus aplicaciones. A nivel internacional hay una actividad intensa relacionada con las aplicaciones de este material. Lo anterior refleja la importancia del grafeno por sus aplicaciones. Esto conlleva en los próximos años una intensa investigación sobre la ciencia básica y aplicada relacionada con grafeno y con los materiales con los que interactúa.

A nivel nacional, no ha habido grandes proyectos sobre el estudio y las aplicaciones del grafeno. De manera aislada, existen grupos que realizan investigaciones sobre este material en las diferentes universidades del país y en los Centros CONACyT. Existe también una incipiente empresa (Graphenemex) que tiene la intención de producir grafeno, pero sin una aplicación específica. Es deseable que, de las actividades de investigación relacionadas con el grafeno, surjan pequeñas empresas que hagan desarrollos específicos para generar productos competitivos y viables de comercializar en nuestro entorno, o a nivel internacional. De la actividad de investigación que se realiza en el departamento alrededor del grafeno, se espera, en una primera etapa, hacer contribuciones originales al conocimiento, que sean publicables en revistas internacionales indizadas, y que además sirvan de soporte para los investigadores dedicados a sus aplicaciones, y para aquellos que se vinculen con el sector productivo.

Hacia finales del siglo pasado y la primera década del presente siglo, las técnicas de inteligencia artificial habían tenido muy pocas aplicaciones en las ciencias, en el desarrollo tecnológico, y en el comercio. Las exitosas aplicaciones de la inteligencia artificial indujeron a que algunos pocos grupos de investigación en física, química, y ciencia de los materiales buscarán aplicarlas en sus investigaciones. Lo anterior demanda la formación de un gran número de recursos humanos expertos en estas técnicas de inteligencia artificial, que actualmente son escasos. En el área de inteligencia artificial en la física se ha iniciado con tres aplicaciones específicas: descubrir nuevos materiales, generar potenciales que describan la interacción entre átomos, y determinar la simetría de la distribución de los átomos en un compuesto nuevo.

3.1.8 Sistemas Complejos

Desde su creación en 1990, el Departamento de Sistemas Complejos tiene como objetivo principal desarrollar investigación de frontera en el área de la complejidad, incluyendo temas de física estadística, dinámica no lineal, física cuántica, sistemas de baja dimensionalidad y estructuras moleculares complejas. Las investigaciones que se realizan abarcan estudios teóricos de física fundamental hasta aplicaciones interdisciplinarias.

Los miembros del departamento participan en colaboraciones nacionales e internacionales, así como en la formación de recursos humanos a través de la dirección de tesis de nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado, además imparten regularmente cursos en relación con las líneas de investigación que cultivan. Se han recibido becarios posdoctorales y profesores invitados a lo largo de los años y participa en la organización de eventos académicos. Los investigadores del departamento cultivan las siguientes líneas de investigación: Sistemas Complejos – Física Estadística – Física Biológica, Nuevos Materiales y Fundamentos de Mecánica Cuántica.

Dentro de las líneas de sistemas complejos se tiene la dinámica de sistemas biológicos y sociales: formación de patrones, materia activa, distribuciones de rango, dinámica de ecosistemas, dinámica social, forrajeo, redes complejas, teoría de juegos; dinámica no lineal, caos y procesos estocásticos; física estadística de sistemas fuera de equilibrio; inteligencia artificial, aprendizaje automático, redes neuronales, entre otros. Los retos científicos de esta área se detallan en el Apéndice B.

Dentro de los estudios con impacto social se propone el estudio de la movilidad en ciudades desde la perspectiva de los sistemas complejos. Este es un tema que se está iniciando en el IF. A futuro se busca tener un impacto a nivel de la Ciudad de México suministrando información que sea de utilidad para mejorar la movilidad en diferentes tipos de transporte. También se busca aportar con resultados aplicables a muchas ciudades del mundo. A nivel internacional, se busca trabajar en colaboración con diferentes grupos de investigación

interesados en movilidad humana en ciudades, así como en el desarrollo de métodos matemáticos aplicables al estudio de zonas urbanas.

El área de nuevos materiales también tiene una proyección importante en el contexto internacional. Por un lado, el estudio de las propiedades fisicoquímicas de nanomateriales es un tema de investigación muy activo a nivel internacional. Por otro lado, la investigación en materiales 2D se ha colocado en los últimos años dentro de los temas de frontera.

En el IF, las líneas mencionadas tendrán una proyección importante para los próximos años, sin embargo, para lograr una mayor relevancia e impacto a nivel internacional es imperativo trabajar en paralelo con investigadores que desarrollen líneas de trabajo experimental en los temas de síntesis controlada y caracterización de ambos nanomateriales. Dentro del área de fundamentos de mecánica Cuántica se planea completar en corto plazo los aspectos fundamentales del formalismo no hermitiano. A más largo plazo se plantea ampliar el formalismo en el contexto general de sistemas disipativos y efectos de memoria.

3.2 Secretarías de Apoyo a la Investigación y Docencia

3.2.1 Secretaría Académica

La Secretaría Académica coadyuva con la persona Titular del IF para establecer políticas internas con el fin de lograr objetivos de carácter general, que orienten el desarrollo académico y las actividades de investigación, con la finalidad de cumplir las funciones que tiene encomendadas el Instituto. El titular de la Secretaría Académica funge como secretario del Consejo Interno con voz.

Representa a la Directora, en su ausencia, en el Consejo Técnico de la Investigación Científica. Realiza labores académicas de investigación, docencia y formación de recursos humanos. Supervisa y coordina los trámites académicos del personal académico del Instituto. Promueve, gestiona y supervisa la administración de los proyectos académicos. Supervisa que se lleven a cabo los trámites académicos relacionados con organismos de apoyo a la investigación, tales como la Coordinación de la Investigación Científica, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, entre otros. Coordina el intercambio académico del Instituto con instituciones del país y extranjero. Supervisar y colaborar en la organización y operación de la Coordinación Docente, Unidad de Comunicación, Vinculación y Biblioteca del Instituto. Vigila la correcta aplicación de la normatividad establecida en relación con la contratación, promoción y diversos trámites académico-administrativos. Realiza las demás funciones que le confiera la Dirección. De esta Secretaría dependen la mayoría de las Unidades de Apoyo a la investigación, las cuales se describen a continuación.

3.2.2 Unidades de Apoyo

El IF cuenta con cinco unidades de apoyo directo a las labores de investigación, docencia y difusión, sin contar las Secretarías, las cuales se mencionan en otro apartado. Éstas son:

- 1) Biblioteca
- 2) Coordinación Docente
- 3) Unidad de Comunicación
- 4) Unidad de Vinculación
- 5) Oficina de Seguridad Radiológica

Las primeras cuatro dependen de la Secretaría Académica, la última depende directamente de la Dirección.

- 1) **La Biblioteca** es un espacio de información esencial en la vida del Instituto y tiene como finalidad satisfacer los requerimientos de los usuarios. Constituye un importante soporte documental para el desarrollo y la continuidad de las actividades de investigación, docencia y difusión de la cultura que se realizan en el Instituto. Actualmente esta unidad de información proporciona servicios a los usuarios, ha incrementado en forma cualitativa y cuantitativa sus colecciones y ha ido incorporado nuevas tecnologías que facilitan, agilizan y optimizan la organización, el control de los materiales y algunas actividades específicas que se llevan a cabo.

Esta modernización de la biblioteca y su acceso y su difusión a través de su sitio web, ha hecho que cada vez menos personas acudan físicamente. Sin embargo, las bibliotecas siempre han desempeñado una función fundamental a la comunidad y ofreciendo la oportunidad de aprender, educar y ayudar a dar forma a las nuevas ideas y perspectivas, que son vitales dentro de una comunidad creativa e innovadora. La visión de esta administración es la de revitalizar la planta baja de la biblioteca del IF para propiciar una atmósfera que sirva como una zona que promueva la creatividad, discusión y colaboración entre sus miembros con el fin de crear sinergias. Además, puede ofrecer la oportunidad a toda nuestra comunidad tan diversa de aprender y educar con diferentes actividades, creando un espacio para el intercambio libre de ideas.

- 2) **La Coordinación Docente** es la unidad encargada de coordinar actividades y programas asociados con la docencia, divulgación y formación de recursos humanos del Instituto de Física, así como coordinar programas asociados a la superación del personal académico. Esta unidad lleva a cabo un gran número de funciones tanto académicas como administrativas. Entre ellas, coordina el Comité Docente y el Subcomité de Superación Académica. Además, realiza eventos de divulgación, como lo es el Día de Puertas Abiertas

en el IF, visitas guiadas a los diferentes laboratorios, y conferencias dirigidas a estudiantes de bachillerato entre muchas otras actividades.

Al semestre se renuevan del orden de 350 estudiantes los cuales llevan a cabo actividades que van desde el servicio social, realización de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, así como iniciación temprana a la investigación. Esta unidad únicamente cuenta con un académico, quien coordina las actividades y una persona administrativa de base.

- 3) **La Unidad de Comunicación** tiene como principal objetivo el informar a la ciudadanía acerca de las actividades de investigación, desarrollo tecnológico, docencia, vinculación y divulgación que realizan investigadores, académicos, técnicos, estudiantes, del IF, entre otros. Esto significa socializar el conocimiento que se genera en el IF para que el público no especializado lo conozca, valore y aprecie la importancia de la física, básica y aplicada, para su vida y el desarrollo científico del país. A lo largo de sus ocho años, la unidad ha estado compuesta por profesionales del área de Comunicación, Periodismo, Física y Diseño Gráfico, y ha sido un espacio para la formación y entrenamiento permanente de estudiantes en la comunicación de la ciencia. Actualmente la unidad de comunicación está integrada por dos técnicos académicos y ocho estudiantes de carreras como Comunicación, Periodismo y Diseño Gráfico.

Esta unidad es una de las pocas oficinas de comunicación dentro de la UNAM que tiene como principal función generar contenidos propios, los cuales distribuye a través de su sitio web, redes sociales y boletines. Estos contenidos incluyen: noticias periodísticas sobre eventos y avances de la comunidad, notas de semblanza, notas sobre artículos especializados, entrevistas, videos, documentales y memorias gráficas, transmisiones en vivo, folletos, infografías, carteles, gráficos y fotografías con el fin de dar a conocer la diversidad de investigaciones y contribuciones que hace el IF para profundizar nuestro entendimiento del Universo, y que a la larga pueda retribuir en una mejor calidad de vida para las personas. La unidad también se encarga de coordinar la participación del IF y de sus académicos en distintos eventos de divulgación que incluyen conferencias de prensa o entrevistas con medios de comunicación, así como talleres, charlas, ferias y exposiciones para público no especializado.

A mediano plazo, la UCIF tiene como meta las siguientes tareas: a) Mantener una producción sostenida de artículos y noticias para consolidar al IF como una fuente de información clara y accesible hacia público no especializado. b) Fortalecer la calidad visual y temática de los videos producidos en la unidad, con el fin de mostrar la diversidad y relevancia de la investigación que se cultiva en el IF. c) Aumentar las interacciones en nuestras cuentas oficiales de Facebook, Twitter, Instagram y YouTube, con base en la publicación de contenidos propios, originales y de interés público. d)

Acercar a la ciudadanía, especialmente de sectores alejados de centros de investigación o con algún grado de vulnerabilidad, a conocer qué hace la comunidad del IF y su relevancia social a través de distintos eventos de divulgación, con la participación activa de académicos y estudiantes. e) Consolidarse como un espacio para la formación y entrenamiento en actividades de comunicación de la ciencia para estudiantes de comunicación, física y diseño gráfico.

- 4) **La Unidad de Vinculación y Transferencia del Conocimiento** es el área estratégica del IF cuya misión es incrementar las oportunidades de vinculación entre él y los sectores público y privado, así como con otras instituciones del Sistema Nacional de Innovación. También tiene encargado el comercializar los conocimientos generados por sus académicos y técnicos para consolidar la transferencia de conocimiento como parte de sus actividades ordinarias y rutinarias creando una cultura de vinculación e innovación para el desarrollo y crecimiento de la UNAM y de México.

Las actividades que realiza la Unidad de Vinculación y Transferencia del Conocimiento (UVTC-IF) están divididas en dos grandes áreas: a) Vinculación con el sector público, privado y social. b) Gestión de la Innovación: propiedad intelectual, transferencia de tecnología, emprendimiento, gestión de calidad de los laboratorios.

Dentro de las perspectivas de esta unidad están a) Promover las relaciones institucionales con dependencias estatales y federales a través de mecanismos de cooperación en materia de política científica como asesorías, estudios de estados de la ciencia, de política en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), entre otras, afín de contribuir a la visión y dirección de CTI en México. b) Promover la colaboración entre el sector productivo a través de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, servicios tecnológicos y/o capacitación para contribuir al desarrollo económico de México. c) Promover el acercamiento al público en general de la aplicación de la física en la vida diaria como medio de entendimiento de su entorno para una mejor apropiación del conocimiento a través del contacto directo con diversos sectores sociales en eventos públicos o dirigidos. d) Revisar, proteger y explotar la propiedad intelectual del IF para beneficio de sus académicos. e) Transferir la propiedad intelectual registrada del Instituto de Física a empresas del sector público y/o privado para contribuir a los beneficios de desarrollo económico y social. f) Asesorar y apoyar a las empresas de base tecnológica generadas en el Instituto de Física, con la finalidad de contribuir al empleo de los estudiantes de física generando así impactos económicos y sociales. g) Mantener e incorporar nuevos laboratorios del IF al Sistema de Gestión de la Calidad basado en las Normas Internacionales ISO9001:2015 “Sistemas de Gestión de Calidad” e ISO17025:2017 “Competencia de laboratorios de ensayo” afín de contribuir a las competencias de mercado de los laboratorios hacia el exterior.

- 5) **La Oficina de Seguridad Radiológica** obedece al REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 22 de noviembre de 1988, debido a que contamos con licencias para el uso de aceleradores y fuentes radiactivas. Esta oficina tiene bajo su dirección y vigilancia todo lo relacionado con la protección radiológica en el centro de trabajo, depende directamente del Titular de la licencia, permiso o autorización, que en este caso es la directora del IF.

La Oficina de Seguridad Radiológica deberá estar apoyada por el permisionario en todos los aspectos relacionados con la elaboración, ejecución, supervisión y modificación del Programa de Seguridad Radiológica. Al Jefe de esta Oficina se le designa como encargado de seguridad radiológica y tiene entre sus funciones: I) Establecer los procedimientos de seguridad radiológica y física aplicables a la adquisición, importación, exportación, producción, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento y destino o disposición final de los materiales radioactivos y dispositivos generadores de radiación ionizante; para revisión y aprobación en su caso de la Comisión. II) Adiestrar y calificar al personal ocupacionalmente expuesto en la aplicación correcta de las normas y procedimientos de seguridad radiológica y física, así como vigilar su cumplimiento durante las operaciones que se realicen con las fuentes de radiación ionizante. III) Establecer el programa de vigilancia radiológica para la determinación, registro, análisis y evaluación de los equivalentes de dosis recibidos por el personal ocupacionalmente expuesto; entre muchas otras funciones. Esta oficina es de gran importancia al IF ya que contamos con varias fuentes radiactivas, así como aceleradores que son fuentes ionizantes y con personal especializado, al cual se tiene que mantener actualizado.

En el actual organigrama esta unidad depende de la Secretaría Académica, sin embargo, dada la responsabilidad y funciones de la misma en la práctica depende directamente del titular de la dependencia, ya que son estas dos figuras quienes tienen la responsabilidad legal ante la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

3.2.3 Secretaría Técnica de Cómputo y Telecomunicaciones

Esta Secretaría tiene diferentes áreas para el apoyo a la investigación. En primer lugar tenemos el área de cómputo científico y de alto rendimiento, a través de la Secretaría Técnica de Cómputo y Telecomunicaciones, es la encargada de mantener, instalar y actualizar los equipos dedicados a la tarea de llevar a cabo los cálculos necesarios por los investigadores del IF en sus investigaciones. Así también como del soporte técnico tanto a estudiantes como investigadores en la utilización, compilación y administración de estos equipos. Actualmente contamos con los siguientes servidores para la infraestructura de cómputo científico del Instituto. De uso general se tiene:

1) Davis

2) Mingus

3) Ellington

4) Coltrane

5) Masterlab

Del grupo de nanociencia computacional se tienen los siguientes servidores:

1) Flatland

2) Baktum

3) Storage

Siendo supercómputo una cuestión de desarrollo estratégico nacional, la compra de un equipo de cómputo de alto rendimiento más avanzado proveerá de una variedad de beneficios a corto y largo plazo para el IF. La siguiente gráfica muestra el uso del clúster Mingus en el último año, en donde hay un uso muy alto de él y también una disminución en sus procesadores por fallas en los nodos, ya que estos cuentan con más de seis años de uso y ya no cuentan con contrato de mantenimiento. Un nuevo equipo le dará a nuestro instituto mayor equidad en herramientas computacionales de alto rendimiento comparados con instituciones académicas de la región (UAM, Cinvestav) y claro, del extranjero, para continuar realizando ciencia de frontera.

Se busca fortalecer y renovar de la actual infraestructura de cómputo, la cual es inadecuada para el avance de nuevas líneas de investigación que se desarrollan en el Instituto e internacionalmente, y que dependen vitalmente de cómputo de alto rendimiento. Como ejemplo de las líneas mencionadas tenemos: nanociencia computacional, física de superficies, catálisis heterogénea, análisis de datos cosmológicos, detección de materia oscura, física de neutrinos, materia ultrafría, entre otros.

Al mejorar la capacidad de desempeño computacional actual, se promueve el desarrollo de líneas de investigación críticas de los diferentes departamentos del IF que conforman esta propuesta. De manera directa, se fortalecen también nuestros técnicos en sistemas encargados del manejo y de una administración eficaz de tecnología de punta computacional.

Al permitir el acceso a equipo de supercómputo se dará una mejor atención a las necesidades de infraestructura de las actuales y futuras generaciones de estudiantes involucrados en proyectos de investigación dentro del IF, teniendo ello un impacto indirecto en el desarrollo socioeconómico de la región al crear recursos humanos tecnológicamente más capacitados. Al disponer de robusto equipo computacional se fomenta la creación de nuevas colaboraciones que permita abordar problemas en física de frontera, relevantes a cada grupo de trabajo.

3.2.4 Secretaría Técnica de Taller y Mantenimiento

El taller central del IF consta de las siguientes secciones, además de encargarse del mantenimiento general de nuestras instalaciones:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1) Diseño | 2) Máquinas y herramientas |
| 3) Máquinas de control numéricos | 4) Soldadura |
| 5) Vacío | 6) Carpintería |

Todas estas secciones presentan áreas de oportunidad, como se pueden mencionar algunas: a) Maquinaria obsoleta y en mal estado. b) No existe un programa de mantenimiento preventivo. c) Una inadecuada disposición de maquinaria y equipo. d) Un mal control de los inventarios de materia prima y materiales. e) Un desorden general en todas las áreas del taller. f) No se llevan a cabo las medidas de seguridad e higiene, aún cuando existen los protocolos generales. g) Mal control de desechos industriales. h) Un sistema de extracción de vapores y polvos deficiente.

De estas deficiencias se pretende implementar las metodologías y estrategias para la administración de la producción y las operaciones, esto para disminuir y optimizar los recursos del taller central del IF atacando las siguientes áreas de oportunidad:

- 1) **Distribución de planta.-** enfocado a tener la correcta y eficiente ubicación de áreas de proceso, maquinaria y equipo, así como actualizar infraestructura en lo posible.
- 2) **Productividad.-** enfocado a contar con las metodologías para la administración de la producción y operaciones dentro del taller.
- 3) **Viabilidad.-** pretende dar un punto objetivo de análisis costo-beneficio para cada área, maquinaria y equipo, así como analizar los factores internos como externos.
- 4) **Mantenimiento del Taller.-** se enfoca en contar con el cronograma de actividades de mantenimiento de maquinaria y equipo, así como de los manuales de procedimientos para llevarlo de forma correcta.
- 5) **Inventarios.-** este apartado es vital para el correcto funcionamiento del taller, ya que genera un gran impacto a la cadena de suministros, aunque la correcta administración de inventarios tanto de material y herramienta no genera un valor agregado al producto, si permite reducir los tiempos de proceso de manera significativa.

- 6) **Seguridad e Higiene.-** enfocado a la prevención de accidentes y a la correcta adecuación del ambiente de trabajo.
- 7) **Innovación.-** enfocado a la gestión de visitas, asesorías y compras con proveedores de maquinaria, equipo, herramienta y productos de nueva generación, esto para una eficiente forma de trabajo.

Las implementaciones se deben hacer con personal capacitado para asegurar su correcto funcionamiento, para esto se solicitarán servicios sociales y tesis según se requiera. Como punto de partida de las mejoras realizadas para el correcto y eficiente funcionamiento del taller se tienen: a) Realización de los lay-outs (Distribución de planta); b) Implementación de cinco s (Productividad); c) Implementación de Kan-ban (Productividad); d) Diseño e implementación de un sistema para el control de inventarios; e) Utilización de productos base agua en la sección de carpintería (Innovación y sustentabilidad); f) Análisis de nuevas tecnologías como el corte con agua y router CNC para su futura implementación de procesos productivos. En principio estas son las áreas en las que se debe trabajar, varias de estas técnicas a implementar impactarán directamente en Seguridad e Higiene.

3.2.5 Secretaría Administrativa

Es la responsable de administrar los recursos humanos, financieros y materiales, así como de otorgar los servicios necesarios al personal académico del IF. En los últimos años el crecimiento que ha existido en la plantilla académica, el aumento del número de proyectos financiados, como CONACyT, PAPIIT, SECTEI, proyectos internacionales, entre otros, el incremento del volumen de compras y servicios ha ocasionado una excesiva carga de trabajo para el personal, lo que ha derivado en mayores tiempos de respuesta. Por lo que se contempla alcanzar las siguientes metas:

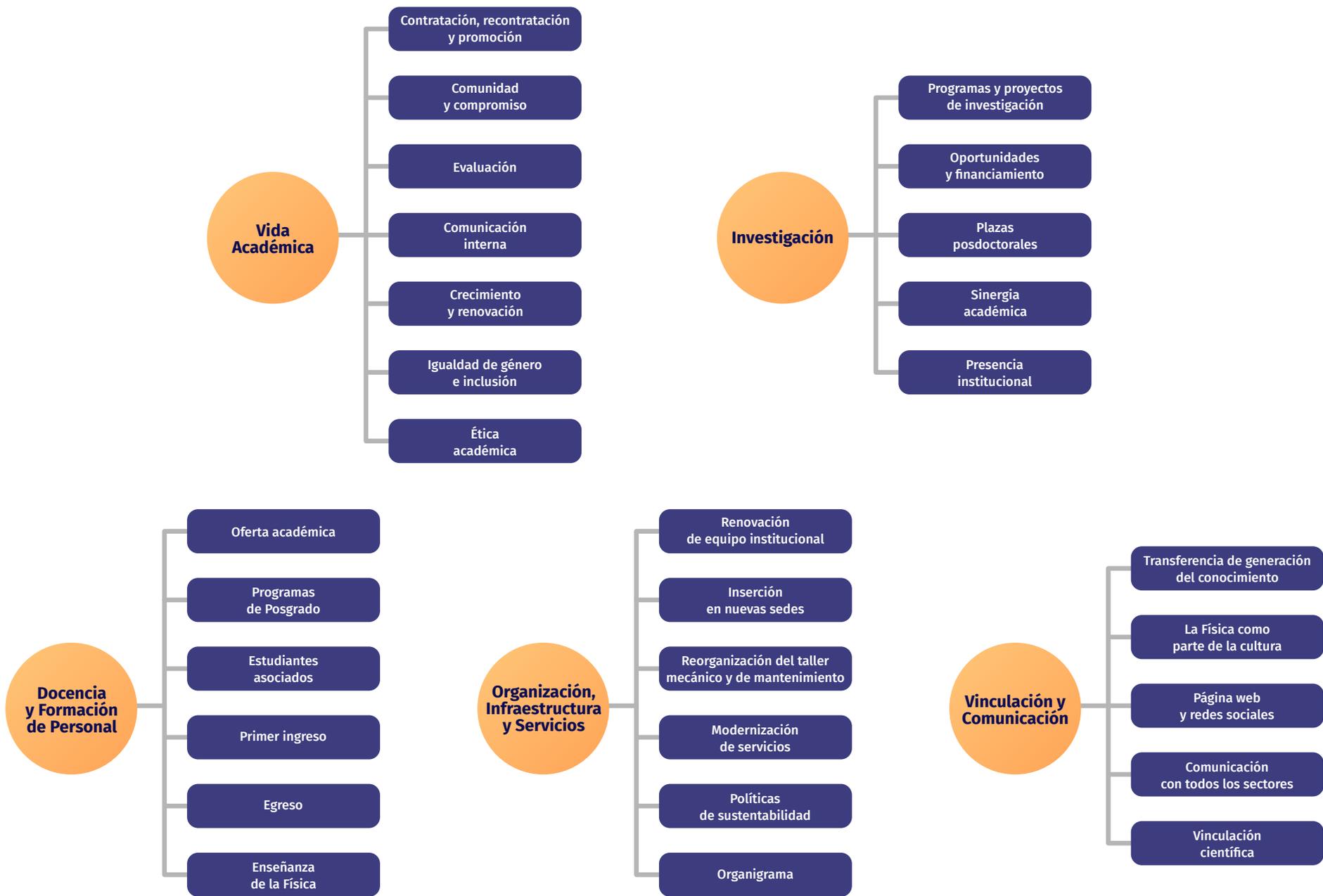
- Agilizar los procesos administrativos, en el marco de la normatividad universitaria y en su caso la legislación aplicable.
- Incrementar los servicios en línea de los trámites administrativos
- Continuar con la implementación del Sistema Integral de Compras (SIC)
- Fomentar la capacitación del personal de confianza, funcionarios y personal administrativo de base dentro de los programas de capacitación de la UNAM, para reafirmar y/o incrementar las capacidades del personal y que el impacto se vea reflejado en los trámites y servicios que se prestan al personal académico del IF.

El personal administrativo del IF está compuesto por alrededor 140 miembros, siendo en este momento 129 de base. Cuentan con capacitación constante, asisten a cursos y talleres, lo que permite mejorar el cumplimiento de su trabajo, así como promociones en el escalafón correspondiente.

4. EJES DE ACCIÓN Y PROYECTOS

- ▶ Bajo el contexto en el que se encuentra el IF, anteriormente mencionado, los ejes de acción a seguir durante los próximos cuatro años tienen como finalidad lograr el mejoramiento continuo de su nivel académico mediante contribuciones más profundas y sólidas, tanto en física básica como en física aplicada. Por otra parte, se tiene como meta mejorar las funciones sustantivas del Instituto en investigación, docencia, formación de personal, difusión, divulgación y vinculación.

El plan de desarrollo consta de cinco ejes de acción establecidos a partir del análisis anterior y considerando la situación actual de continuo cambio en el país. Los ejes de acción son a) la vida académica, b) el fortalecimiento de la investigación, c) la docencia y formación de personal altamente calificado, d) la organización, infraestructura y servicios, así como e) la comunicación y vinculación. A continuación, se describe los objetivos de cada eje, el nombre del proyecto, las acciones propuestas, así como sus metas e indicadores.



Ejes de acción y proyectos del Plan de Desarrollo Institucional del IF

4.1 Fortalecimiento a la vida académica e institucional

Objetivo

Establecer estrategias de comunicación colaboración, y fomentar en los académicos la unidad, identidad, respeto y compromiso institucional. Reconocer e impulsar liderazgos académicos y promover su proyección internacional.

Este eje está compuesto de siete proyectos, con acciones, metas e indicadores definidos, los cuales se describen a continuación.

4.1.1 Proyecto: Mejoramiento de los procesos de contratación, recontractación y promoción

Acciones

- Definir perfiles académicos para los procesos de contratación, recontractación y promoción del personal académico.
- Asignar un mentor a los académicos de reciente ingreso con el fin de guiarlos en la presentación de informes, planes de trabajo, elaboración de proyectos, así como buscar estrategias y oportunidades para su desarrollo académico.
- Apoyar el desarrollo académico de los Técnicos Académicos buscando financiamiento para su capacitación.
- Integrarlos más a la vida académica del IF a los investigadores que pertenecen bajo el esquema de Cátedras CONACyT.

Responsable Secretaría Académica.

Metas Elaborar una serie de recomendaciones para las promociones de investigadores asociados C y definitividades.

Indicadores Documento guía con recomendaciones presentando ante el Consejo Interno. Primer año.

4.1.2 Proyecto: Integración a la comunidad del Instituto reforzando el compromiso institucional en tareas de grupo, departamentales e institucionales

Acciones

- Identificar objetivos comunes por departamentos de investigación, estableciendo planes y programas a mediano y largo plazo.

- Proponer coloquios con base en los objetivos académicos comunes que generen interés en la mayor cantidad de los académicos del IF.
- Generar proyectos de grupo que den continuidad a las líneas de investigación exitosas ya establecidas y que refuercen las que se encuentren con potencial de desarrollo exitoso.
- Realizar un congreso interno bianual, para mejorar la integración de todo el Instituto.

Responsables Jefes de Departamento.

Metas Realizar talleres por departamento de manera anual para establecer objetivos y planes.

Indicadores Número de talleres e informe por departamento. Anual.
Número de coloquios propuestos por los departamentos. Anual.

4.1.3 Proyecto: Lineamientos de evaluación

Acciones

- Elaborar una guía que ayude a los académicos con los requerimientos y puedan determinar con mayor certeza el mejor momento para solicitar sus promociones y definitividad.
- Realizar una o varias reuniones con los académicos de más reciente ingreso para dar a conocer el mecanismo académico-administrativo de los trámites.

Responsable Secretaría Académica.

Metas Reunión anual con investigadores de recién incorporación.

Indicadores Número de pláticas de incorporación a la vida académica universitaria.

4.1.4 Proyecto: Reforzamiento y creación de otros canales de comunicación interna

Acciones

- Fortalecer la comunicación interna a través de la página web, en donde se puedan dar a conocer aspectos relevantes de los éxitos y problemáticas de desarrollo académico individual y colectivo.
- Crear canales de mayor representación para los jóvenes académicos motivando la reactivación del Colegio del Personal Académico.
- Fomentar el clima organizacional, a través las diferentes jefaturas de departamentos,

así como de las unidades de apoyo, que permita tener una estructura colegiada fortalecida.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Incorporar en la página web espacios para dar seguimiento a los informes tanto en calidad, como en cantidad.
Indicadores	Número de canales de comunicación.

4.1.5 Proyecto: Fomento de una política de crecimiento y renovación

Acciones

- Establecer condiciones de tiempos y tipos de apoyo a los académicos de recién ingreso y Laboratorios de reciente creación.
- Identificar mecanismos de apoyo continuo desde la dirección.
- Establecer con cada departamento o grupos temáticos, compromiso y responsabilidad compartida para facilitar el apoyo desde la dirección y cada departamento elaborará su propio plan de desarrollo.

Responsables	Jefes de Departamento.
Metas	Realizar seguimiento del desarrollo de las nuevas contrataciones.
Indicadores	Número de investigadores de recién incorporación.

4.1.6 Proyecto: Comisión Interna de Equidad de Género

Acciones

- Atender las acciones y observaciones del Consejo Universitario para Integrar una Comisión Interna de Equidad de Género (CInEG) formada por todas las poblaciones que conforman al IF: académicos, estudiantes asociados, personal de base y confianza.
- Fomentar acciones y apoyar CInEG en su programa de trabajo anual en apego al protocolo para la Atención de Casos de Violencia de Género en la UNAM
- Reforzar la comunicación con la Coordinación para la Igualdad de Género en la UNAM, con el fin de difundir la cultura de igualdad y equidad de género en el IF.
- Crear una cultura de equidad e inclusión a todos los niveles.

Responsable	Dirección.
Metas	Integrar la CinEG, sus lineamientos internos, y elaborar programas anuales para el fomento a la inclusión y equidad de género en el IF.
Indicadores	Número de actividades anuales de la CinEG.

4.1.7 Proyecto: Comisión y Código de Ética Académica

Acciones

- Formar un Comité de Ética Académica con carácter consultivo, con el objetivo de sugerir acciones fundamentadas en los valores y principios del Código de Ética de la UNAM.
- Proteger la libertad académica para conseguir los más altos estándares de honestidad académica en investigación y docencia mediante la elaboración de un Código de Ética Académica.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Integrar un Comité de Ética Académica y un programa de trabajo
Indicadores	Lineamientos internos del Comité de Ética Académica. Aprobación del Reglamento Interno del IF ante el CTIC para incorporar el Comité de Ética Académica, así como la CinEG, sus objetivos y alcances.

4.2 Fortalecimiento a la investigación

Objetivo

Fomentar la planeación y promoción de líneas de investigación estratégicas, buscar y asegurar fuentes de financiamiento considerando el contexto actual; así como dar las facilidades necesarias a los académicos de reciente incorporación.

Este eje está compuesto por cinco proyectos, con acciones, metas e indicadores definidos, los cuales se describen a continuación.

4.2.1 Proyecto: Robustecer los Programas y Proyectos de Investigación del Instituto de Física

Acciones

- Incluir objetivos complementarios que permitan dar continuidad a los proyectos de investigación exitosos.
- Reforzar las líneas de investigación que han sido exitosas, así como las que se encuentran con un potencial de desarrollo.
- Conjuntar la experiencia que se tiene tanto en física básica y aplicada, para incidir en temas nacionales estratégicos como: salud, energía, medio ambiente, comunicaciones, entre otras.
- Crear proyectos semilla que permitan compartir en convocatorias de diferentes agencias de financiamiento.
- Insertarnos en proyectos institucionales, gubernamentales e internacionales.
- Establecer colaboraciones estratégicas con instituciones afines.

Responsable Secretaría Académica.

Metas Elaborar una convocatoria anual para proyectos internos de investigación y docencia.

Indicadores Número de proyectos otorgados.

4.2.2 Proyecto: Ampliar la búsqueda de oportunidades y financiamiento nacional e internacional

Acciones

- Convocar a la planeación de proyectos de interés institucional, nacional e internacional; así como de beneficio social directo, de acuerdo con el contexto actual.
- Proporcionar a nuestros académicos y estudiantes nuevas herramientas para mejorar las habilidades de investigación en física, que les permitan su incorporación en sectores diferentes al académico.
- Consolidar líneas de investigaciones estratégicas, entre grupos experimentales y teóricos en las diferentes temáticas para potenciar la investigación y colaboración entre académicos.
- Incrementar la presencia del IF con grupos de investigación de diferentes disciplinas; así como en diferentes sectores de la sociedad.
- Impulsar el desarrollo de proyectos colectivos afines a nuestra disciplina de investigación y docencia, como, por ejemplo, en la ciencia de datos.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Propiciar un incremento en las solicitudes de proyectos interdisciplinarios y multidisciplinarios.
Indicadores	Número de proyectos financiados por PAPIIT, CONACYT, SECTEI y organismos internacionales.

4.2.3 Proyecto: Revisión de la política para la asignación de plazas posdoctorales

Acciones

- Asignar becas posdoctorales para realizar acciones transversales entre las diferentes temáticas, para establecer los programas de investigación dentro de la institución.
- Establecer políticas de asignación de becas posdoctorales de acuerdo al presente plan de desarrollo institucional y de acuerdo a las metas de los departamentos de investigación.
- Consolidar líneas de investigaciones estratégicas, entre grupos experimentales y teóricos en las diferentes temáticas para potenciar la investigación y colaboración entre académicos.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Elaborar una guía para la asignación de plazas posdoctorales de acuerdo al presente plan de Desarrollo Institucional del IF.
Indicadores	Número de becarios posdoctorales.

4.2.4 Proyecto: Establecer estrategias que propicien sinergias entre los académicos

Acciones

- Adaptar laboratorios compartidos de uso general para optimizar recursos y crear sinergias.
- Sumar conocimientos y enfoques que promueva sinergias a través de la colaboración entre investigadores con habilidades, conocimientos, experiencia, y en su caso, infraestructura complementaria.
- Reforzar con nuevas contrataciones la colaboración teórica-experimental.
- Apoyar proyectos que involucren el trabajo de investigadores teóricos y experimentales.
- Aprovechar la experiencia en la creación de laboratorios nacionales para generar/participar en grandes proyectos de infraestructura nacionales e internacionales.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Desarrollar laboratorios compartidos de uso general que atienda las necesidades de una amplia población de académicos.
Indicadores	Número de laboratorios compartidos. Número de proyectos vinculados con problemas nacionales.

4.2.5 Proyecto: Fortalecimiento de la presencia en comités colegiados, comisiones y organismos de financiamiento

Acciones

- Promover la presencia de los académicos del IF en diferentes sociedades científicas nacionales e internacionales.
- Promover la presencia de los académicos del IF en diferentes comités científicos nacionales e internacionales.
- Promover la presencia de los académicos del IF en diferentes organismos científicos nacionales e internacionales.

Responsable	Secretaría Académica.
Metas	Fomentar la presencia de académicos del IF en los diferentes cuerpos colegiados.
Indicadores	Número de académicos presentes en diferentes cuerpos colegiados.

4.3 Fortalecimiento a la docencia y formación de personal altamente calificado

Objetivo

Incrementar el número de estudiantes asociados a los académicos del IF en todos los niveles, así como calidad de su formación.

Este eje está compuesto por seis proyectos, con acciones, metas e indicadores definidos, los cuales se describen a continuación

4.3.1 Proyecto: Estrategias para atraer estudiantes y aumento de la oferta académica en licenciatura.

Acciones

- Coordinar acciones conjuntas con los representantes de los académicos del IF en las licenciaturas en Física, Ciencia de la Tierra y Física Biomédica; así como de los posgrados en Ciencias Física (PCF) y Ciencia e Ingeniería de Materiales (PCEIM).
- Realizar las gestiones necesarias para aumentar la participación de los académicos en actividades y fortalecer la presencia del IF en la Facultad de Ciencias.
- Organizar la oferta de cursos en licenciatura y posgrado de acuerdo a las diferentes temáticas de investigación del IF.
- Colaborar en otros programas de posgrado nacionales e internacionales, a través de intercambios, tutorías conjuntas y en proyectos.

Responsable Coordinación Docente.

Metas Fomentar la presencia de académicos del IF y sus líneas de investigación en la Facultad de Ciencias.

Indicadores Número de eventos en conjunto con la Facultad de Ciencias.
Número de estudiantes asociados al IF a nivel licenciatura anualmente.

4.3.2 Proyecto: Apoyo a la reestructuración del Posgrados en Ciencias Física (PCF)

Acciones

- Organizar a los académicos para participar en las actividades del plan de estudios para realizar sus tareas sustantivas y asegurar su éxito.
- Buscar mecanismos de apoyo a los estudiantes asociados para garantizar la excelencia académica de los egresados.
- Revisar la oferta de cursos y temáticas que permitan incrementar la participación de los académicos del IF en el posgrado.
- Dar a conocer esta oferta de cursos y temáticas para ser más visible y atractiva la investigación que se realiza en el IF para los estudiantes de posgrado.

Responsable Coordinación Docente.

Metas Fomentar la presencia de académicos del IF y sus líneas de investigación en Posgrado en Ciencias Físicas.

Indicadores Número de estudiantes asociados al IF cursando el Posgrado en Ciencias Físicas anualmente.

4.3.3 Proyecto: Apoyo para la captación de estudiantes

Acciones

- Realizar eventos en diferentes escuelas, facultades afines, así como en otras universidades para dar a conocer las oportunidades de investigación y formación de estudiantes en el IF.
- Promover proyectos de investigación del IF y los posgrados, en congresos que se realizan en México y en el extranjero.

Responsable Coordinación Docente.

Metas Fomentar la presencia de académicos del IF y sus líneas de investigación en congresos nacionales e internacionales.

Indicadores Número de eventos de promoción de la oferta académica del IF en congresos y facultades.

4.3.4 Proyecto: Integración a los estudiantes asociados de primer ingreso al posgrado en el IF

Acciones

- Realizar una ceremonia de inauguración de semestre académico, para dar a conocer las instalaciones y estructura administrativa de apoyo a los estudiantes asociados.
- Adaptar más espacios para que los estudiantes asociados realicen sus labores.

Responsable Coordinación Docente.

Metas Fomentar la integración de los estudiantes asociados de primer ingreso.

Indicadores Número de guías para los estudiantes asociados al IF de primer ingreso.

4.3.5 Proyecto: Incorporación de egresados

Acciones

- Promover su inserción en el sector privado y el gubernamental, para que en el futuro nuestros egresados sean los mejores agentes de vinculación con estos sectores.
- Realizar un programa piloto para identificar proyectos de investigación que se puedan realizar con el sector productivo.

Responsable Unidad de Vinculación.

Metas Encontrar nichos de oportunidad para insertar a nuestros egresados en el sector privado o gubernamental.

Indicadores Número de egresados laborando en el sector privado o gubernamental.

4.3.6 Proyecto: Fortalecimiento en la búsqueda de espacios de mayor incidencia de la enseñanza de la física en México

Acciones

- Fomentar el posicionarnos en el debate nacional sobre este tema.
- Establecer convenios de colaboración con instancias locales encargadas de la educación, así como con instancias federales.

Responsable Coordinación Docente

Metas Incremento de la presencia del IF en escuelas y otros sectores.

Indicadores Número de visitas guiadas de estudiantes de bachiller a las instalaciones del IF.

4.4 Fortalecimiento a la organización, infraestructura y servicios

Objetivo

Renovar la organización de los laboratorios, taller y unidades de apoyo con el fin de mejorar la prestación de servicios en general, para operar con eficiencia acorde a las necesidades actuales.

Este eje está compuesto por seis proyectos, con acciones, metas e indicadores definidos, los cuales se describen a continuación

4.4.1 Proyecto: Ampliación de proyectos académicos con los cuales se puedan renovar los equipos institucionales

Acciones

- Incentivar la participación del personal académico en la presentación de proyectos de investigación, para crear unidades de laboratorios compartidos para apoyar a una gran cantidad de académicos del IF.
- Incentivar la participación del personal académico en la presentación de proyectos de investigación, para actualizar el equipo de uso común y que sea complementario a los que existen en la UNAM.
- Actualizar el taller de instrumentación científica mediante el desarrollo de proyectos académicos de integración mecánica y electrónica.

Responsable Dirección

Metas Renovación de la infraestructura de investigación.

Indicadores Número equipos nuevos para la investigación en el IF.

4.4.2 Proyecto: Inclusión del personal académico en sedes universitarias de reciente creación dentro y fuera de la Cd. de México

Acciones

- Buscar presencia en las propuestas de nuevas carreras y áreas de investigación.
- Contribuir al crecimiento de la física en México, como mecanismo para abrir nuevas plazas de investigación.

Responsable Secretaría Académica

Metas Identificar carreras multidisciplinarias de nueva creación para colaborar con ellas.

Indicadores Número de académicos del IF colaborando en otras carreras diferentes a la de Física.

4.4.3 Proyecto: Reorganización la Secretaría Técnica del taller mecánico y mantenimiento

Acciones

- Actualizar la metodología y desarrollo de trabajos de instrumentación científica. Identificar trabajos a corto, mediano y largo plazo, así como por su grado de innovación o dificultad.
- Elaborar guías para una correcta planeación y asignación de los trabajos que permita realizar desarrollos más complejos y en tiempo eficiente
- Implantar un programa de capacitación para el personal adscrito al taller.
- Planear y reforzar las labores del mantenimiento, hacer énfasis en el mantenimiento preventivo de las instalaciones del IF.

Responsables Secretaría Técnica de Taller y Mantenimiento.

Metas Reestructurar el taller mecánico y de mantenimiento.

Indicadores Número de trabajos realizados por las Secretarías de Desarrollo de Instrumentación y de la Secretaría Técnica de Mantenimiento.

4.4.4 Proyecto: Modernización de servicios

Acciones

- Implementar un programa continuo de renovación para las tecnologías de información y comunicaciones.
- Mejorar, aumentar y automatizar los servicios en línea para trámites académicos y administrativos.
- Continuar con el proceso de modernización y actualización del acervo bibliográfico.
- Reorganizar los espacios de la Secretaría Técnica de Cómputo y la Unidad de Comunicación.
- Reorganizar el espacio de la biblioteca con el fin de que sea un espacio de convivencia para la generación de ideas y proyectos académicos.
- Reorganizar las medidas de seguridad administrativa, física y técnica aplicables a los sistemas de tratamiento de datos personales del Instituto de Física con el fin de asegurar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información personal que éstos contienen.

Responsables	Secretaría de Cómputo y Telecomunicaciones.
Metas	Elaborar el sistema de Gestión de Seguridad de Datos Personales. Actualizar la red alámbrica e inalámbrica de internet, así como su sistema de seguridad
Indicadores	Número de antenas de conexión inalámbrica. Renovación de la red de internet, de su seguridad y estabilidad. Número de revistas y libros en formato electrónico. Documento de seguridad para el Sistema de Gestión de Seguridad de Datos Personales.

4.4.5 Proyecto: Establecimiento de políticas de sustentabilidad que se logren acciones y participación en proyectos para mejorar la relación entre las actividades del IF y el medio ambiente

Acciones

- Promover el ahorro de energía mediante el uso de fuentes renovables.
- Disminución del uso de bolsas plásticas para la recolección de basura.
- Hacer más eficiente el uso de agua en las instalaciones y la conservación de áreas verdes.
- Continuar y fortalecer el mejoramiento de estrategias para el tratamiento de residuos.

Responsables	Secretaría Técnica de mantenimiento.
Metas	Elaborar un programa sustentable.
Indicadores	Curso anual para el manejo de residuos. Número de lámparas con sensores de presencia.

4.4.6 Proyecto: Revisión y adaptación del organigrama de acuerdo a las necesidades actuales

Acciones

- Fusionar el Subcomité de Superación Académica, estará compuesto por miembros del Comité de Docencia, que a su vez está compuesto por la Coordinación Docente y los representantes de las licenciaturas y posgrados.
- La Secretaría Técnica de Mantenimiento y Taller quedará dividida en dos Secretarías Técnicas:

- Secretaría Técnica de Mantenimiento, y
- Secretaría Técnica de Desarrollo de Instrumentación, que a su vez se incorporará al Laboratorio de Electrónica.
- Reorganizar las funciones de la Secretaría de Cómputo y Telecomunicaciones y actualizarla a Secretaría de Tecnologías de Información y Comunicaciones.
- Fortalecer la oficina de Seguridad Radiológica la cual dependerá directamente de la dirección, ya que es esta última tiene la responsabilidad legal en esta materia.
- Buscar un coordinador dedicado a la vigilancia y gestión de los Laboratorios Centrales que asegure el buen funcionamiento.

Responsables

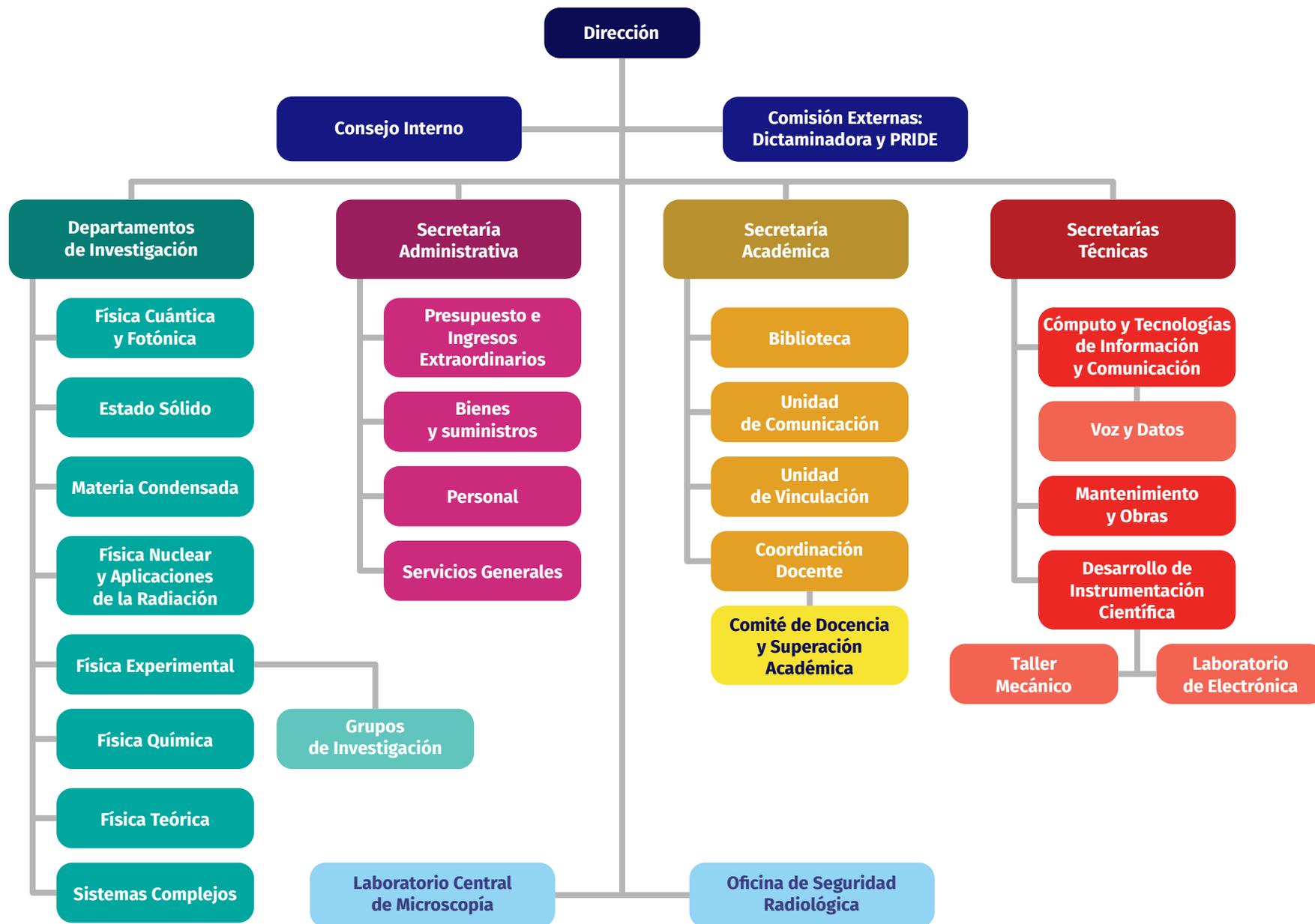
Dirección.

Metas

Reorganizar la Secretaría de Cómputo y Telecomunicaciones.
Reorganizar los espacios de la Unidad de Comunicación.

Indicadores

Adaptar un espacio apropiado para las actividades de la Secretaría de Cómputo y Telecomunicaciones.
Adaptar un espacio apropiado para las actividades de la Unidad de Comunicación.
Creación de la Secretarías de Desarrollo de Instrumentación.
Creación de la Secretaría Técnica de Mantenimiento.
Reestructurar el organigrama.



Propuesta del Nuevo Organigrama de acuerdo a las necesidades actuales

4.5 Vinculación y Comunicación

Objetivo

Estrechar lazos con la sociedad, el sector gubernamental, el sector productivo nacional e internacional con el fin de promover la transferencia de conocimiento y la innovación.

Este eje está compuesto por cinco proyectos, con acciones, metas e indicadores definidos, los cuales se describen a continuación.

4.5.1 Proyecto: Consolidación de la transferencia de conocimiento en el IF como parte de sus actividades ordinarias y rutinarias

Acciones

- Elaborar un plan comunicación para difundir el conocimiento generado en el IF a través de diferentes medios presenciales y virtuales.
- Elaborar un plan de vinculación que fomente la cultura de la protección intelectual, la gestión de calidad, el fomento a la innovación, emprendimiento y gestión de la calidad

Responsables Unidades de Vinculación y de Comunicación.

Metas Plan de comunicación.
Plan de vinculación.

Indicadores Número de eventos y proyectos asociados a estos planes.

4.5.2 Proyecto: La Física como parte de la cultura

Acciones

- Fortalecer y ampliar el programa de Día de Puertas Abiertas que nos permita crear vínculos con la sociedad.
- Participar en eventos culturales que permeen el hecho de que la ciencia, y en particular la Física, es parte de la cultura universal de las sociedades.
- Promover la física a nivel bachillerato.
- Promover la Física a niñas y mujeres adolescentes, con el fin de atraer a más mujeres a estudiar esta disciplina.

Responsables Unidades de Vinculación y de Comunicación.

Metas	Realizar el día de Puertas Abiertas para todo público. Fomento de la Física a nivel bachillerato. Fomento de la Física para niñas y adolescentes.
Indicadores	Un evento anual de Día de Puertas Abiertas. Número de eventos y visitas guiadas a laboratorios para estudiantes de bachillerato. Número y participación en eventos dirigidos a niñas y adolescentes.

4.5.3 Proyecto: Desarrollo de redes sociales

Acciones

- Crear en el idioma inglés el sitio web y redes sociales del IF, que permitan la promoción y la colaboración internacional.
- Implementar una sección para todo público, para resolver dudas del público en general.
- Implementar una sección para el sector privado, donde se definan las asesorías, servicios, programas de transferencia tecnológica y otras actividades que proporciona el IF.

Responsables Unidad de Comunicación y Secretaría de Cómputo.

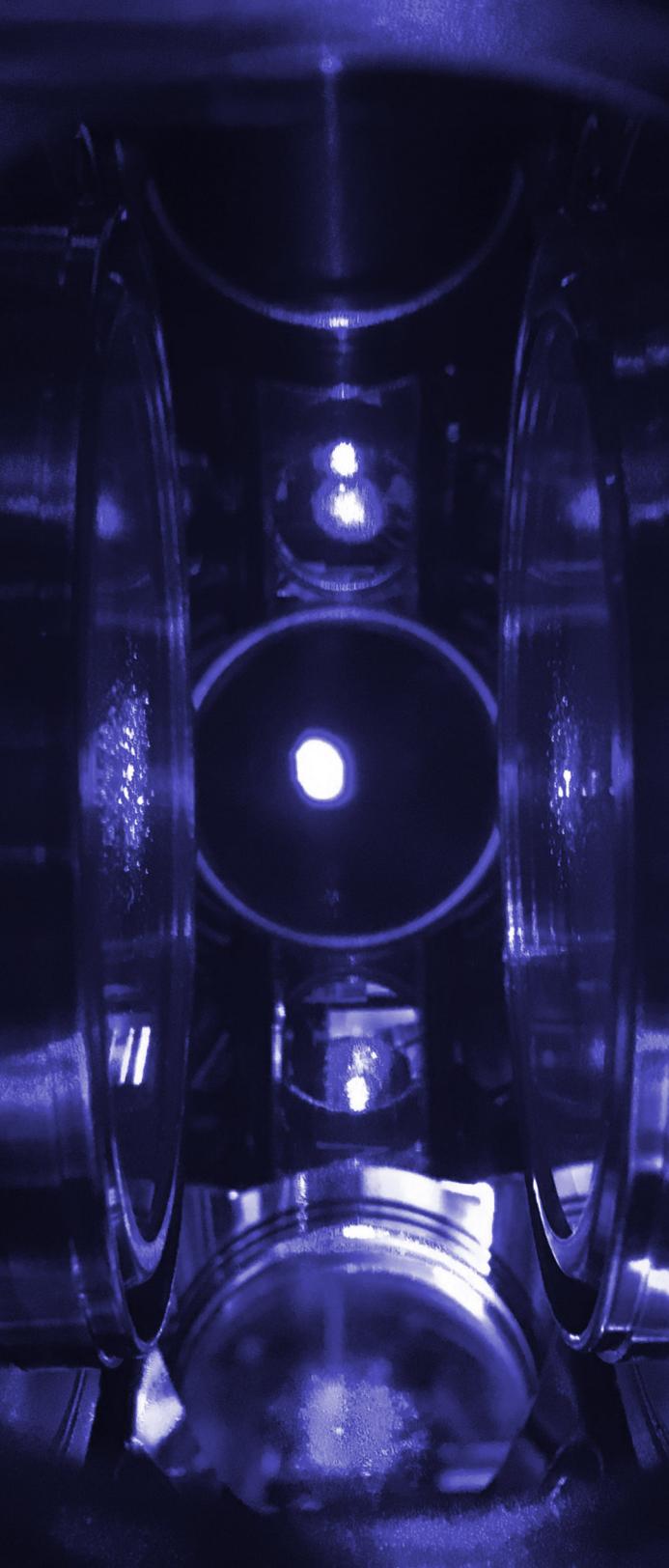
Metas Reestructuración de la página web y su traducción al idioma inglés.

Indicadores Sitio web en el idioma inglés.
Número de secciones nuevas en el sitio web.
Número de comunicaciones de divulgación en redes sociales.

4.5.4 Proyecto: Comunicación de la información generada por el IF

Acciones

- Formar un comité de comunicación que proponga temas de importancia en el momento, y avale los contenidos públicos que se difunden por diferentes medios.
- Buscar continuamente la presencia de los miembros del instituto en los medios de comunicación, en los diferentes foros de divulgación.
- Aumentar la vinculación con otras dependencias de la UNAM con el fin de generar proyectos que puedan beneficiar a varias dependencias.



Responsables Unidad de Comunicación.

Metas Conformar un comité de comunicación del IF. Selección de los temas a abordar mensualmente, redacción de los guiones de divulgación, generación de propuestas de diseño, autorización de las propuestas y publicación en el sitio web y otros medios.

Indicadores Número de temas seleccionados por el comité para difusión.

4.5.5 Proyecto: Fortalecer la vinculación científica

Acciones

- Realizar campañas de vinculación científica, mediante proyectos colectivos en temas prioritarios nacionales.
- Promover la colaboración entre el sector productivo y gubernamental a través de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico para fortalecer la vinculación con las instituciones nacionales y extranjeras.
- Establecer convenios orientados al desarrollo de proyectos colectivos que favorezcan el crecimiento y propicien el reconocimiento mutuo de las instituciones participantes.
- Fortalecer y Mantener el Sistema de Gestión de Calidad de los laboratorios del IF.

Responsables Secretaría Académica.

Metas Vinculación con el sector gubernamental y privado en proyectos de salud y medio ambiente, entre otros temas prioritarios nacionales.

Indicadores Número de proyectos de vinculación.
Un evento anual de Innovación con el sector gubernamental y privado.

5. EVALUACIÓN, SEGUIMIENTO Y CONSIDERACIONES FINALES

- ▶ Desde la Dirección es necesario dirigir y vigilar la armonía de todo el personal, sus procedimientos académicos y administrativos, así como el buen funcionamiento de sus instalaciones. La Dirección no sólo debe ser un facilitador para los académicos y su comunidad en general, sino que debe proveer las condiciones necesarias y encauzarlas para la constante superación académica de sus individuos, lo que sin duda redundará en la continua mejora académica de la Institución. Para que los planes en este documento se puedan hacer realidad es importante mantenernos unidos, comprometidos y dispuestos a asumir cada uno nuestra responsabilidad y en consecuencia el reconocimiento correspondiente. Estas estrategias y líneas de acción se deben seguir enriqueciendo mediante la comunicación y discusión de la comunidad en espacios colegiados.

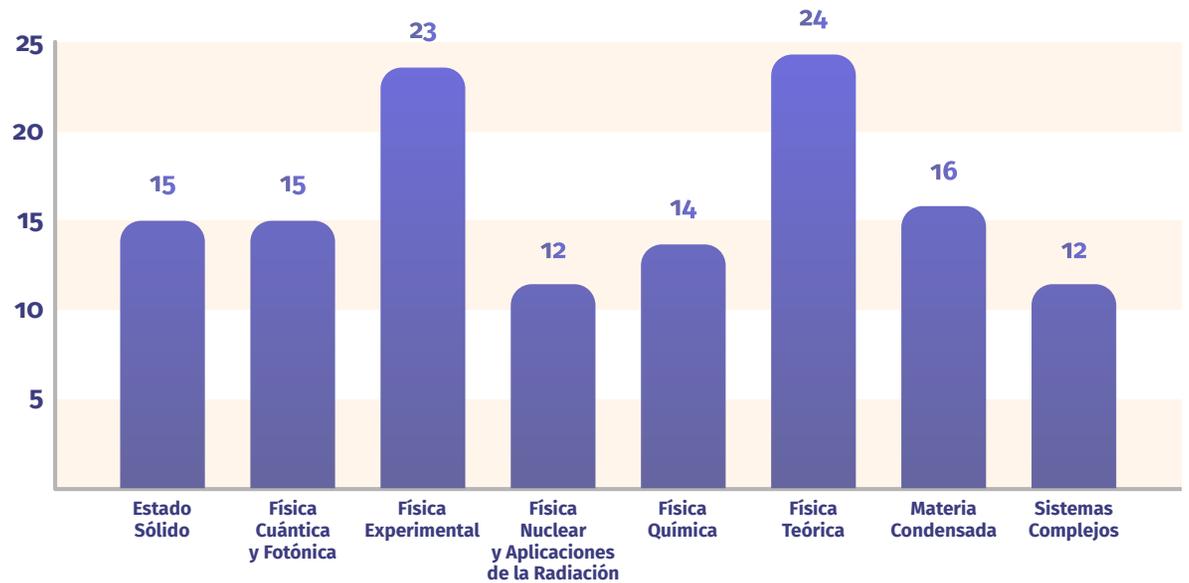
Para dar seguimiento y evaluar el presente Plan de Desarrollo Institucional del Instituto de Física se realizarán reuniones periódicas con los diferentes responsables y equipos de trabajo. Se solicitarán avances semanales y por trimestre. Finalmente, los avances también serán reportados en los diferentes informes anuales y el informe final de esta administración.

Es importante hacer notar que las perspectivas y objetivos que se describen en este documento pueden sufrir modificaciones a corto, mediano y largo plazo debido a diversas causas de índole interno y externo, como es una posible situación de volatilidad económica, entre otros. Sin embargo, estamos convencidos de que en este momento de grandes cambios nacionales e internacionales, debemos estar atentos y abiertos al diálogo con respeto y armonía. La comunidad del IF debe mantenerse unida y dispuesta a construir soluciones a los retos que nos imponen estos cambios.

6. APÉNDICES

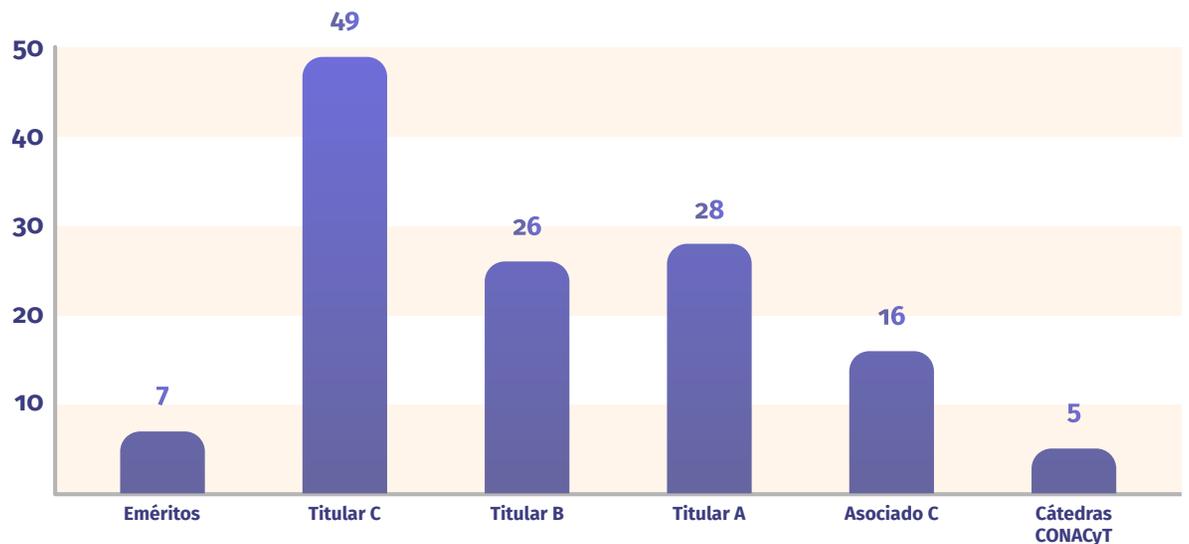
▶ A. Organización académica en números

En este apéndice se muestra la distribución de los académicos que constituyen al IF, su pertenencia a los diferentes programas de estímulos como el PRIDE y SNI, distribución de edades, entre otros. La distribución de investigadores por departamento se muestra en el siguiente histograma, en él se incluyen los cinco investigadores con cátedras CONACyT con los que cuenta el IF.



Distribución de Investigadores por Departamento 2019

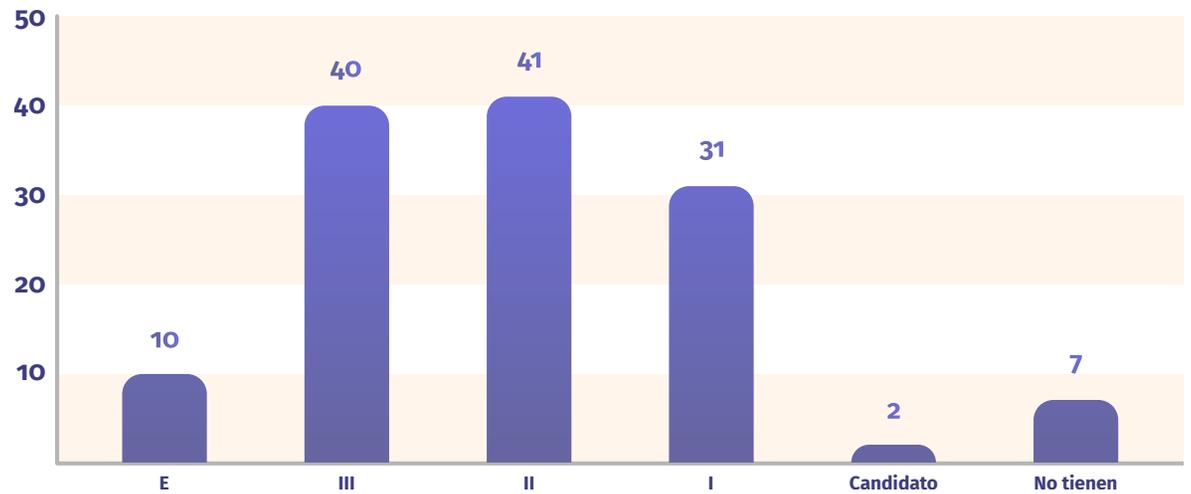
En los siguientes tres histogramas se muestra la distribución de investigadores por categoría, incluyendo catedráticos, nivel de PRIDE y del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).



Distribución de Investigadores por categoría 2019

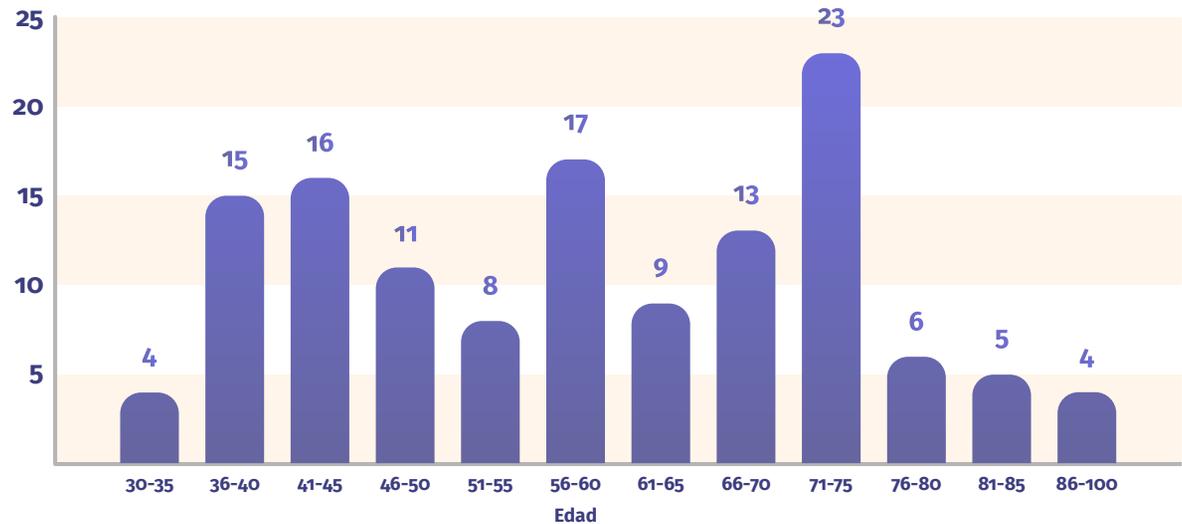


Distribución de Nivel de PRIDE de los Investigadores 2019



Distribución de Investigadores por nivel del SNI (E: Eméritos) 2019

En el siguiente histograma se muestra la distribución de investigadores por intervalo de edad, siendo actualmente la edad promedio de 59 años. Este promedio de edad se ha mantenido en los últimos años debido a los 43 jóvenes académicos que se incorporaron en la administración anterior del IF, lo cual muestra la renovación de su planta académica. Sin embargo, el promedio de edad sigue siendo mayor al del subsistema de investigación.



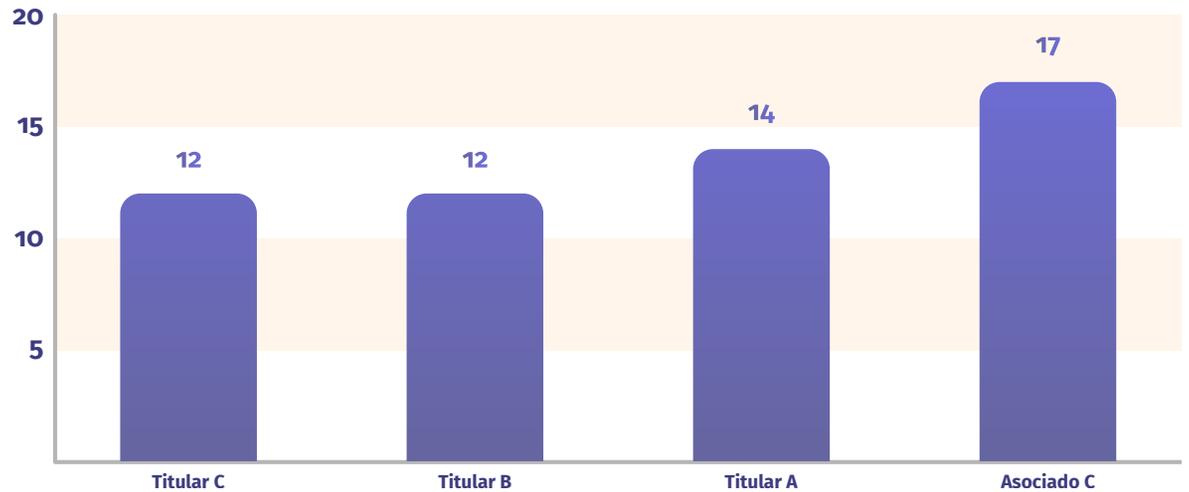
Distribución de Investigadores por edad 2019

Por lo que respecta al número de técnicos académicos, actualmente son 55, con edad promedio de 53 años, los cuales están distribuidos en todos los departamentos, excepto Física Teórica; así como en las unidades de apoyo a la investigación, tal como se muestra en el siguiente histograma. Cabe indicar que el número de técnicos académicos ha crecido muy poco en los últimos 20 años, considerando que en el año 2000 el número era de 52. Por otro lado, el número de laboratorios de investigación creció considerablemente.

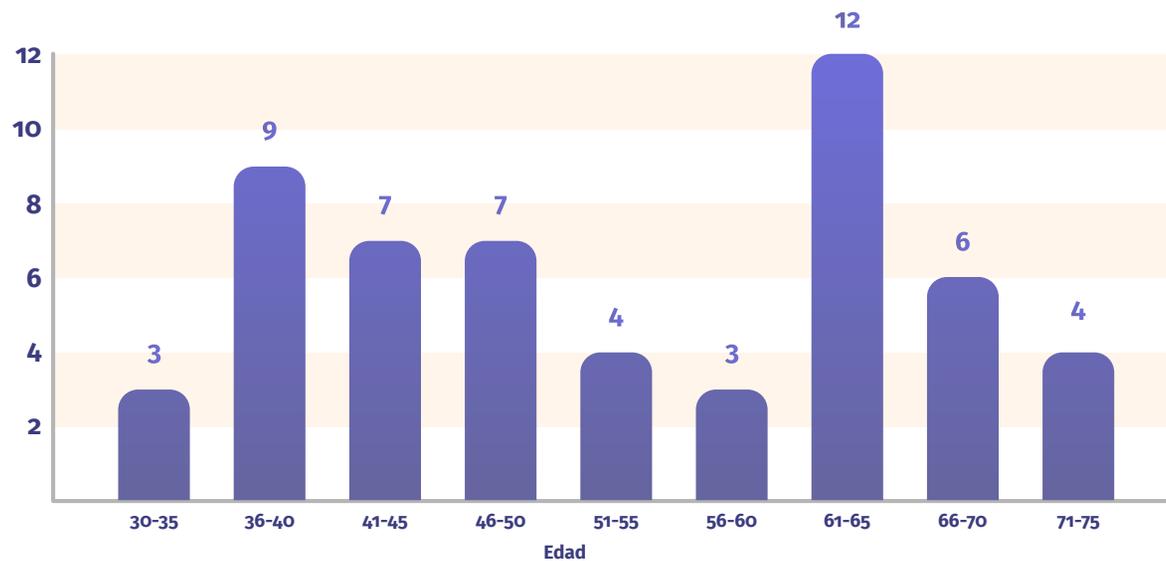
En los siguientes histogramas se muestra la distribución de Técnicos Académicos por departamento, categoría, edad y nivel de PRIDE, cabe destacar que siete de los técnicos académicos pertenecen al SNI: uno nivel II, cuatro niveles I y dos candidatos.



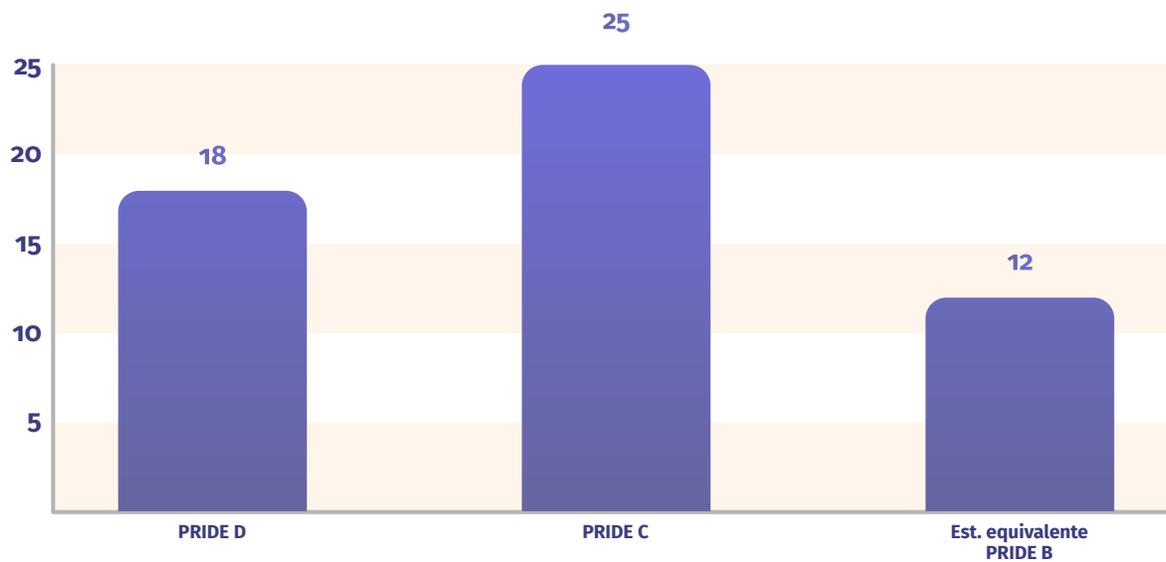
Distribución de Técnicos Académicos por Departamento 2019



Distribución de Técnicos Académicos por categoría 2019



Distribución de Técnicos Académicos por edad 2019



Distribución de Nivel de PRIDE de los Técnicos Académicos 2019

Parte importante del desarrollo académico del IF es la formación de jóvenes promesas para desarrollar investigación científica, como se observa en el siguiente histograma, en los últimos tres años hubo una disminución significativa de becarios posdoctorales, es por ello que se deben buscar políticas y fuentes de financiamiento para incorporar más jóvenes recién doctorados al IF.



Becarios posdoctorales por año

► B. Descripción de áreas de investigación por departamentos

Estado Sólido

Después de la reestructuración de los departamentos llevado a cabo en el año 2017, el Departamento de Estado Sólido quedó conformado con 15 Investigadores y tres Técnicos Académicos. En este departamento se realiza investigación sobre, propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas de sistemas cristalinos y amorfos, orientada de manera especial a materiales nanoestructurados con aplicaciones en fotónica y nanociencia. Otras líneas de investigación son la adsorción de átomos y moléculas individuales en superficies; influencia en la respuesta óptica no lineal de nanocompuestos metálicos y puntos cuánticos; propagación de ondas en medios inhomogéneos; interacción radiación materia en sólidos cristalinos. A continuación, se describen las tres principales áreas de investigación del departamento, se enlistan otras líneas de investigación que se desarrollan y se mencionan los laboratorios con los que cuenta.

Área 1: Física del Comportamiento Óptico de los Materiales

Existen mecanismos en las transiciones ópticas que no están bien comprendidos y que requieren amplios estudios para su completa descripción. Éstos ocuparán las investigaciones de los próximos años con diferentes etapas de desarrollo. Tanto internacional como

nacionalmente, existe un número muy grande de grupos de investigación dedicados a este tema ya sea en universidades o en empresas. El estudio de las propiedades ópticas de materiales ha tenido avances y un desarrollo sostenido, desde el uso de materiales para detección de varios tipos de partículas o radiación en general, pasando por la generación de diversas fuentes de luz, hasta la obtención de diversos sensores que usan la luz como medio.

Esta área comprende las siguientes investigaciones: a) Nanofotónica de sistemas de partículas metálicas y semiconductoras en diversas matrices. Propiedades ópticas lineales y no lineales; b) Procesos que ocurren en nanopartículas de óxidos (Al_2O_3 , HfO_2 y Y_2O_3) impurificados con metales de transición (como Mn^{2+}) y tierras raras (Eu^{2+} , Eu^{3+} , Nd^{3+} , Er^{3+} y Yb^{3+} , etc.). Se hace desde la síntesis orientada a la formación de nanoestructuras, hasta la identificación de niveles de energía y simetría del sitio dopado. Propiedades ópticas y su dependencia del tamaño de partícula; c) Propiedades ópticas de tierras raras y sus diferentes estados de agregación y precipitación dentro de soluciones sólidas, y composites de éstas, de Halog. Alcal.; d) Creación de centros de color en soluciones sólidas, y composites de éstas, de Halog. Alcal., con tierras raras, y su dependencia con el estado de precipitación secundaria; e) Plasmónica y óptica cuántica; f) Relación entre propiedades ópticas en sistemas compuestos y la estructura interna de éstos tanto desde un punto de vista de un problema directo como inverso.

Perspectiva

La propuesta actual, orientada al uso de nanoestructuras de diversos tipos y configuraciones, obliga a una adaptación, en principio relacionada con modelos que predigan el comportamiento de estos sistemas y con su necesaria confirmación por los métodos experimentales espectroscópicos ópticos con los que se dispone. La respuesta que se espera de los sistemas bajo estudio puede ser lineal o no lineal. La sensibilidad de los equipos con los que disponga el IF debe ser suficientemente alta como para detectar estas repuestas. A corto plazo es conveniente renovar equipos y configuraciones experimentales para obtener resoluciones ópticas adecuadas, en especial, estudiar sistemas nanoestructurados. Por otro lado, las líneas de nanofotónica, plasmónica y óptica cuántica son fundamentales en el desarrollo, a corto, mediano y largo plazo, de nuevos dispositivos optoelectrónicos que permitan, entre otras cosas, continuar con la aplicación de la Ley de Moore y con el desarrollo de computadoras cuánticas.

Área 2: Física del Comportamiento Electrónico y Magnético de los Materiales

Esta área comprende las siguientes investigaciones: a) Dinámica de magnetización y magneto-óptica. Propiedades de excitación, propagación y evolución de ondas de espín, así como su interacción con microondas y luz; b) Propiedades ópticas y magnéticas de materiales

por espectrometría por dispersión Brillouin, efecto Kerr, sondeo de microondas y magnetometría de muestra vibrante (VSM); c) Magnón espintrónica. Propiedades magnónicas y espintrónicas de estructuras, dispositivos y circuitos basados en corrientes de espín generadas por magnones; d) Conductividad eléctrica y magnética en nanopartículas de óxidos (como Al_2O_3 , HfO_2 , Y_2O_3) con metales de transición, tales como Mn^{2+} y de tierras raras: Eu^{2+} , Eu^{3+} , Nd^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , entre otras; e) Transporte electrónico de nanoestructuras; f) Estructura electrónica de moléculas y su interacción con la superficie de adsorción; f) Superconductividad en sistemas bidimensionales (grafeno, grafano, borofeno) decorados con átomos, impurezas y cúmulos metálicos, basándose en la teoría de funcional de la densidad.

Perspectiva

A corto y mediano plazo, se pretende desarrollar experimentos para medir magnitudes que caractericen a la conducción eléctrica y la magnetización, orientadas principalmente a sistemas mono y bidimensionales, y a sistemas del orden nanométrico de los materiales mencionados, y poder así, acercarse a los pocos modelos existentes de transporte eléctrico y magnetización en este tipo de sistemas. Se tiene contemplado avanzar en el desarrollo de configuraciones apropiadas de equipamiento para poder obtener información experimental de las propiedades eléctricas y magnéticas de materiales de baja dimensionalidad y nanoestructurados. En el plano nacional e internacional, durante los próximos años, se planea hacer contribuciones importantes en los entendimientos del transporte de carga en moléculas orgánicas, así como en cálculos teóricos que describan las propiedades físicas y químicas de tales moléculas; también, en los efectos que la adsorción tiene en la conductancia molecular. A largo plazo se espera poder fabricar, utilizando moléculas orgánicas, dispositivos funcionales con capacidades de nanobiosensores o transistores electrónicos. Por otro lado, la superconductividad bi o monodimensional es un tema en boga en la física actual, por sus posibles aplicaciones tecnológicas, y este departamento tiene una infraestructura básica que, de ser actualizada, le permitiría explorar estos sistemas a mediano plazo.

Área 3: Estructura de la Materia

El estudio de la estructura de la materia es un área que ha tenido en toda la historia de la Física, una proyección determinante en las actividades humanas y su entorno en los próximos años. En particular, las estructuras de sistemas materiales en las categorías de solución sólida, composito, precipitación secundaria, dispersión particular, y singularidad estructural, son las más prometedoras para ser determinadas a corto y mediano plazo, sean éstas con ordenamiento atómico de largo alcance (macro, micro) o de corto alcance (nano, decinano), tanto en alta como en baja dimensionalidad. Esta área comprende las siguientes investigaciones: a) Cristalografía de defectos estructurales, soluciones sólidas y compositos,

por difracción de rayos X; b) Geometría y orientación de precipitados y nodos cuádruples de uniones triples de fronteras de grano en monocristales, soluciones sólidas y composites, por espectrofotometría, microscopía de epifluorescencia, y reconstrucción electrónica tridimensional; c) Nanoestructuras por Raman polarizado y amplificación Raman por sonda local; d) Adsorción de moléculas individuales en la creación de islas y/o nanoestructuras autoensambladas por reconocimiento quiral, por microscopía de efecto túnel; e) Estados superficiales en superredes de base compleja. Propagación de ondas y existencia de modos superficiales en la interfase entre medios isotrópico semi-infinito y semi-infinito con arreglo periódico de capas con base compleja; f) Atrapamiento de contaminantes por sistemas bidimensionales reutilizables de multicapa, basándose en la teoría de funcional de la densidad (DFT); g) Simulación numérica del comportamiento de superficies catalíticas (grafeno prístino, grafeno con impurezas, nitruro de boro, cúmulos de carbono como el semifulereno C₃₀), especialmente para la adsorción de moléculas contaminantes, por DFT, dinámica molecular (MD) y teoría de pseudo potenciales. Propiedades ópticas de absorción y reflectividad de superficies catalíticas antes y después de la adsorción, así como de cúmulos moleculares adsorbidos de grafeno y otros materiales para diseñar supercapacitores; h) Catalizadores heterogéneos con nanopartículas metálicas. Se desea contar en los próximos años con la capacidad de determinar estructuras cristalográficas a partir de datos de difracción de rayos X por monocristales.

A su vez, la determinación geométrica y orientacional de precipitados y de nodos cuádruples de uniones triples de fronteras de grano, por difracción de rayos X y microscopía óptica de epifluorescencia, se extenderá a las soluciones sólidas y composites de halogenuros alcalinos obtenidos de 3 y 4 fases diferentes en los siguientes cinco años y de 4, 5 y 6 fases diferentes, en los años posteriores. Se considera necesario contar con un dispersómetro de rayos X a bajo ángulo con el fin de poder determinar la morfología general promedio de nanopartículas dispersas. Por otro lado, el estudio del atrapamiento de impurezas contaminantes empleando estructuras bidimensionales de mono o poli capa tendrá una proyección mayúscula en la detección y remoción de los contaminantes ambientales.

Perspectiva

En la actualidad, la caracterización cristalográfica de estos materiales, en el IF, se restringe a la determinación del tipo y tamaño de red de Bravias, del alcance del orden de la periodicidad traslacional y del acercamiento a la determinación de su estructura. Se planea contar con la capacidad de determinar estructuras cristalográficas a partir de datos de difracción de rayos X por monocristales.

Se considera importante, a corto plazo, contar con un dispersómetro de rayos X a bajo ángulo con el fin de poder determinar la morfología general promedio de nanopartículas dispersas. Por otro lado, el estudio, subárea (f), del atrapamiento de impurezas contaminantes

empleando estructuras bidimensionales de mono o poli capa tendrá una proyección mayúscula a mediano y largo plazo en la detección y remoción de los contaminantes ambientales. Siendo problema que padece todo el planeta, se invertirá cada vez más esfuerzo, y recursos, en salvar y resguardar el medio ambiente.

Por su parte, el estudio estructural de las superficies catalíticas que incluyen al grafeno prístino, grafeno con impurezas, el nitruro de boro, los cúmulos de carbono, como el semifulereno C₃₀, así como el estudio de las propiedades de cúmulos moleculares de importancia tecnológica, adsorbidos en estas superficies. Se proyecta en el futuro cercano y mediano como indispensable para el diseño de, por ejemplo, supercapacitores. El uso de hidrocarburos empieza a tender a desaparecer por el problema del efecto invernadero y el cambio climático.

La utilización de la energía eléctrica en vehículos es crucial. Para ello, el almacenamiento de energía eléctrica es determinante. Los supercapacitores prometen ser una buena solución. Es necesario diseñar los electrodos más eficientes, para ese fin, en su capacidad y en su rapidez de carga y de descarga. También, en relación al estudio de nanoestructuras por Raman polarizado, y por amplificación de Raman por sonda local, en superficies, nanoestructuras y nanopartículas metálicas, subárea (c), en el plano nacional, se planea integrar los trabajos de los investigadores que trabajan en esta línea de investigación, con el fin de hacer estudios de óptica no lineal por medio del sistema de amplificación Raman a sonda local. En el contexto internacional, se buscará trabajar con grupos internacionales para estudiar los efectos no lineales del campo cercano en estructuras moleculares de dos dimensiones y los efectos de la polarización de la luz. Se espera en el largo plazo consolidar estas áreas de estudio en el contexto nacional e internacional.

El estudio, por microscopía de efecto túnel, de la adsorción de moléculas individuales en la creación de islas y/o nanoestructuras por medio del autoensamblaje y reconocimiento quiral, así como de máquinas moleculares, subárea (d), no ha sido desarrollado en México y se esperan avances en los planos nacional e internacional. En relación a la investigación de estados superficiales en superredes de base compleja, subárea (e), las analogías entre sistemas cuánticos electromagnéticos y acústicos, en sistemas heteroestructurales, nos permitirían sacar conclusiones de comportamientos físicos análogos en las diferentes áreas de la física mencionadas sin tener que realizar los cálculos para cada una de las áreas pues el comportamiento ondulatorio es similar y, así, nos permitiría predecir estados superficiales localizados u otro tipo de estados equivalentes en cada área.

A su vez, sobre el estudio sobre el atrapamiento de impurezas contaminantes empleando sistemas bidimensionales, subárea (f), la posibilidad de recolectar contaminantes de la atmósfera con sistemas micro y nanoestructurados, que sean reutilizables, es de desear pues se podrían ofrecer sistemas comerciales de bajo costo a empresas y particulares para que

atrapen los contaminantes que ellos mismos producen. En la misma tendencia, los resultados de la subárea (h) califican para aplicarlos a mediano y largo plazo en mejorar la calidad del aire, obtener fuentes alternas de energía, en la descontaminación de aguas, en la producción de alimentos, en la producción de mejores medicamentos, entre otros.

Otras líneas de investigación que se desarrollan son: Sistemas complejos, econofísica y sociofísica; así como teoría termodinámica irreversible del envejecimiento, y física estadística fuera de equilibrio.

Laboratorios en Estado Sólido

- 1) Cristalografía y Difracción de Rayos X
- 2) Dinámica de Magnetización
- 3) Espectroscopia Óptica de Átomos y Moléculas
- 4) Individuales en Superficies
- 5) Fotónica de Geles
- 6) Óptica de Superficies
- 7) Propiedades Ópticas, Luminiscencia, Fotoconductividad y Crecimiento de Cristales

Física Cuántica y Fotónica

Durante la reestructuración de los departamentos llevado a cabo en el año 2017, se creó el departamento de Física Cuántica y Fotónica, el cual quedó integrado por 15 Investigadores y dos Técnicos Académicos. El objetivo del Departamento es realizar investigación experimental y teórica de vanguardia sobre las propiedades fundamentales de sistemas cuánticos en general, de la luz, y el acoplamiento de esta con la materia. Las líneas de investigación que se cultivan en el Departamento dan lugar a una variedad temática importante que abarca áreas como mecánica cuántica y semiclásica, óptica, estructura de la materia, interacción radiación-materia, física estadística y física de la información, entre otros.

El Departamento cuenta con cuatro laboratorios actualmente, uno de ellos ya ha dado resultados de impacto internacional, mientras que los otros se encuentran en fase de consolidación para abordar las áreas arriba descritas y uno más se encuentra en desarrollo. Todos están en condiciones de crecimiento. En lo que respecta a la parte teórica, el

Departamento tiene investigadores tanto maduros como jóvenes, con experiencia e impacto en diversas áreas de la física atómica y de muchos cuerpos. A continuación, se describen las tres principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que se desarrollan.

Área 1: Control Óptico de la Materia

La interacción entre luz y materia es un proceso fundamental y su entendimiento a detalle permite un profundo control sobre la materia en sus grados de libertad externos e internos. En el Departamento de Física Cuántica y Fotónica se desarrollan diversas líneas de investigación en torno a este tema como son: micromanipulación óptica y acústica, enfriamiento láser, física atómica y átomos de Rydberg, campos electromagnéticos estructurados y óptica singular. En estas líneas participan 11 investigadores, dos técnicos académicos, 29 estudiantes y una becaria posdoctoral. La micromanipulación óptica aprovecha el momento de la luz para manipular objetos a una escala que va desde unas decenas de nanómetros a decenas de micrómetros. Un ejemplo importante son las pinzas ópticas, que permiten tanto manipular objetos microscópicos como medir fuerzas en el orden de piconewtons.

Este es un tema muy amplio, en el que confluyen diversas ramas de la física básica y aplicada y de otras disciplinas, como la óptica y fotónica, la física estadística y la microbiología. Un aspecto relevante de este tema es la respuesta dinámica de la materia a campos luminosos incidentes estructurados, no sólo en el régimen de óptica lineal sino también en el régimen no-lineal. A una escala más pequeña la descripción de la interacción entre átomos y luz requiere del conocimiento detallado tanto de la componente atómica como de su contraparte óptica. Un ejemplo sobresaliente del control óptico que se puede lograr sobre átomos explotando esto es el enfriamiento láser. Usando luz se logra transferir la energía cinética de los átomos a fotones que se dispersan, llevando consigo la energía del sistema atómico. Preparando así un gas de átomos se facilita el control de sus grados internos de libertad pues se cancela el efecto Doppler asociado a su interacción con luz.

De este modo se pueden usar los gases atómicos como medios ópticos no lineales explotando su estructura de niveles discreta o bien creando átomos altamente excitados (átomos de Rydberg) en el medio cuya interacción afecte drásticamente sus propiedades ópticas. Por otro lado, empujando aún más el enfriamiento se pueden crear gases degenerados cuánticos.

Área 2: Materia Cuántica

La realización de lo que llamamos materia cuántica es uno de los grandes logros de la física básica de las décadas más recientes. El calificativo apunta al hecho que, de manera

macroscópica, los aspectos cuánticos de la materia no sólo se manifiestan, sino que son esenciales para su cabal comprensión. Aunque el interés del departamento se centra en aspectos de ciencia básica, no se elude la relevancia de la materia cuántica en aplicaciones reales, como por ejemplo la mejora de los relojes atómicos, así como potenciales avances en las comunicaciones y en la ingeniería cuántica en general.

El estudio de la materia cuántica está asociado a estados de la materia a temperaturas muy bajas, dentro de lo que se encuadra el estudio de los gases fríos y ultrafríos, de micro a nanokelvin de temperatura. El panorama e intereses del departamento muestran una gama muy amplia: desde aspectos básicos de la física atómica, tanto a nivel individual como de muchos cuerpos, que involucran conceptos fundamentales de las fluctuaciones cuánticas, los sistemas altamente correlacionados, hasta llegar al estudio de gases y fluidos tanto de carácter bosónico como fermiónico.

Cabe mencionar la relevancia de los logros experimentales en este campo de la condensación de Bose-Einstein (BEC) como la del estado Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS), paradigmas fundamentales de la materia cuántica desde hace muchos años.

Por el lado experimental, el departamento cuenta con el Laboratorio de Materia Ultrafría donde se tiene un dispositivo experimental para el estudio de gases ultrafríos en vapores de Litio (6Li y 7Li), con capacidad para estudiar fenómenos muy diversos a temperaturas de decenas de nanokelvin. En la parte teórica se estudian una gran variedad de sistemas de muchos cuerpos en interacción tanto entre ellos como con potenciales externos controlables, como redes y cavidades ópticas.

Así mismo, existe un gran interés en la descripción termodinámica de estos sistemas y en novedosos estados de la materia, como los aislantes topológicos que requieren de una descripción cuántica y de propiedades globales donde la topología es esencial. Al estudio de estos temas se dedican 11 investigadores, dos técnicos académicos, 25 estudiantes y dos becarios posdoctorales.

Área 3: Óptica e información cuántica

En el departamento existen varias líneas de investigación sobre sistemas cuánticos, motivada en parte por el inédito control experimental que se ha logrado en las últimas décadas. En particular, los átomos neutros y fotones entrelazados han atraído especialmente nuestra atención y son motivo de estudio en nuestro departamento, tanto teórica como experimentalmente.

Estos sistemas son escenarios adecuados para llevar a cabo estudios sobre procesos, almacenamientos y comunicación que, además de generar novedosas líneas de investigación,

tienen el potencial de generar tecnología de vanguardia basada en el manejo de la información. Además de las aplicaciones anteriores son también útiles para investigar aspectos fundamentales de la mecánica cuántica.

Nuestro estudio se centra en los grados de libertad espaciales de la luz y en los grados de libertad internos de los átomos. Además del caso ideal en el que el sistema cuántico está perfectamente aislado, el caso más realista es cuando el sistema está en contacto con otros grados de libertad que no podemos controlar o no nos interesan. Es decir, sistemas cuánticos abiertos, como ensambles de átomos neutros ultrafríos en cavidades de alta reflectancia o sistemas similares con circuitos superconductores e iones. Una meta es desarrollar estrategias para explotar los recursos cuánticos del sistema para fines de diseño en posibles experimentos y dispositivos. Esto requiere de la incorporación de la óptica cuántica, la materia condensada y la teoría de información cuántica.

Desde el punto de vista experimental, un estudio de relevancia es el mezclado de cuatro ondas en gases atómicos que permite generar luz con propiedades cuánticas. Para la construcción de este, así como su implementación en sistemas abiertos atómicos, ha sido necesario tanto implementar técnicas espectroscópicas estándar en la física atómica contemporánea, como desarrollar nuevas técnicas de espectroscopía no lineal en donde se ha requerido. En estos temas laboran ocho investigadores, dos técnicos académicos, 12 estudiantes y dos becarios posdoctorales.

Perspectiva

Una de las principales fortalezas del Departamento consiste en la integración de sus componentes teóricos y experimentales. Es un departamento joven y de reciente creación, trabajando de manera articulada en temas de frontera. El Departamento cuenta con cuatro laboratorios actualmente, uno de ellos ya ha dado resultados de impacto internacional, mientras que otros dos se encuentran en fase de consolidación para abordar las áreas arriba descritas y uno más se encuentra en desarrollo. Todos están en condiciones de crecimiento. En lo que respecta a la parte teórica, el Departamento tiene investigadores tanto maduros como jóvenes, con experiencia e impacto en diversas áreas de la física atómica y de muchos cuerpos.

Otras líneas de investigación que se desarrollan son: Modelos matemáticos en Biología y Biomedicina, Filosofía de la física, Haces estructurados, Sistemas complejos, Estudio de campos acústicos estructurados y su interacción de la materia, Analogías entre campos ondulatorios, Sismología.

Laboratorios en Física Cuántica y Fotónica

El Departamento de Física Cuántica y Fotónica cuenta con los siguientes laboratorios:

- 1) Laboratorio de Átomos Fríos y Óptica Cuántica
- 2) Laboratorio de Materia Ultrafría
- 3) Laboratorio de Óptica Cuántica de Rydberg
- 4) Micromanipulación Óptica

Los tres primeros forman parte del Laboratorio Nacional de Materia Cuántica (LANMAC).

Física Experimental

En el Departamento de Física Experimental se utilizan y diseñan técnicas experimentales basadas en radiación para realizar investigación básica y aplicada. Por ejemplo, se estudia el uso de la radiación en medicina, en la generación de imágenes biomédicas y en el estudio y conservación del patrimonio cultural. Se investiga la modificación de materiales por iones y se desarrolla instrumentación para estudiar la formación de astropartículas y antimateria, obtener imágenes a partir de radiación atmosférica, y detectar radiación cósmica y gamma de alta energía. El departamento de Física Experimental está integrado por 23 Investigadores y nueve Técnicos Académicos, los cuales están organizados en cinco grupos de trabajo:

- Grupo de Fenómenos en Sistemas Microestructurados (FESMI).
- Grupo de Dosimetría y Física Médica (DOSIFICAME).
- Laboratorio de Imágenes Biomédicas (LIB).
- Grupo de Astropartículas y Astrofísica de Altas Energías (HAWC).
- Grupo de Física Nuclear y Sub-nuclear (FINSU).

Las tres principales áreas de investigación que desarrollan estos grupos de investigación, son las siguientes.

Área 1: Fenómenos en Sistemas Microestructurados (FESMI), Haces Iónicos y Superficies

Esta área de investigación la desarrolla el grupo de académico que lleva el mismo nombre. En ella se realiza investigación sobre los procesos y efectos de la interacción de iones energéticos en materiales sólidos, reafirmando las capacidades y ventajas del empleo del acelerador Pelletron para el análisis y la nanoestructuración de diversos tipos de materiales.

Asimismo, el grupo ha ampliado sus capacidades de técnicas de análisis no destructivo con haces de iones, al desarrollar técnicas no-destructivas y sistemas portátiles de caracterización; esto permitió la creación del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC).

Temas específicos de investigación: a) Síntesis de materiales por efecto de la irradiación con iones, generación de nanopartículas y nanoestructuras en el interior de sólidos por medio de la implantación de iones. b) Caracterización de propiedades ópticas, electrónicas, magnéticas, superficiales de materiales y nanoestructuras generados por medio de la irradiación e implantación de iones. c) Modificación de superficies y generación de sustratos funcionalizados. d) Formación y modificación de nanoestructuras por medio de pulsos cortos de láser. e) Diseño y fabricación de estructuras nanométricas ordenadas por litografía con nanoesferas (NLS). f) Caracterización de materiales de origen diverso y sus alteraciones, tales como, arqueológicos, geológicos, artísticos, sintéticos, entre otros.

Perspectiva

En el mediano y largo plazo se pretende continuar con el estudio de las propiedades ópticas lineales, no lineales y fotoluminiscentes de nanopartículas metálicas y semiconductoras sintetizadas por implantación de iones en dieléctricos transparentes. En esta área el grupo ha contribuido al campo con más de 70 publicaciones en revistas indizadas de circulación nacional, todas obtenidas de resultados directos de los laboratorios del departamento de Física Experimental. La infraestructura desarrollada a través de 35 años de investigación en el campo es muy importante en el IF y tiene un buen desempeño operacional.

Además, tiene asociado dos laboratorios de preparación de muestras y dos laboratorios de óptica, uno de óptica lineal y otro de óptica no lineal, este último se comparte con otro departamento dentro del IF. A mediano plazo, se pretende llevar a cabo la nanoestructuración de superficies asistidas por la irradiación con iones, así como realizar estudios sobre la texturización de las superficies de sólidos por efecto de la irradiación con iones, enfocado a otorgar propiedades apropiadas para sustratos funcionales. A largo plazo, se pretende poder aplicar los conocimientos anteriores para la fabricación de guías de onda con propiedades activas. Asimismo, abordar los principios en el desarrollo de superficies funcionalizadas con posibles aplicaciones en microfluídica, fisicoquímica.

En cuanto las aplicaciones, el LANCIC tiene un ámbito de oportunidad muy importante por la riqueza cultural del país y un alcance a nivel nacional que permite vislumbrar que dentro del mediano plazo un posible centro internacional de desarrollo de metodologías basadas en imagenología y espectroscopias, y un centro regional con nexos importantes a nivel internacional, con un impacto muy importante en la formación especializada de recursos humanos. La infraestructura instalada deberá renovarse para la próxima década. Para tal

efecto se ha considerado continuar el desarrollo de instrumentación especializada y la implementación de nuevos métodos espectroscópicos. También se considera la construcción de alianzas con grupos de investigación en otras regiones del país y del extranjero con metodologías afines. Se considera que las bases de datos de referencias de espectros, materiales de referencias y estudios de colecciones que integrará LANCIC a largo plazo serán una valiosa fuente de información para la toma de decisiones estratégicas para la conservación del patrimonio cultural del país, consolidándolo como un referente nacional e internacional. El Grupo FESMI, está constituido por seis investigadores y cinco técnicos académicos, dos Cátedras CONACYT y 26 estudiantes.

Área 2. Dosimetría, Física Médica e Imágenes Biomédicas (DOSIFICAME)

El grupo DOSIFICAME realiza investigación básica y aplicada sobre el transporte de la radiación ionizante y su depósito de energía en materia, y las interacciones de la radiación no-ionizante con tejido biológico con el fin de optimizar las aplicaciones médicas de estas radiaciones. En este grupo se originó la Maestría en Física Médica del PCF UNAM. Dirige el Laboratorio de Física Médica e Imagen Molecular de la Unidad de Investigación Biomédica en Cáncer INCan-UNAM. Adicionalmente DOSIFICAME coordinó la Red de Investigación Física Médica de CONACyT. Las líneas de investigación de DOSIFICAME son: a) Dosimetría básica y aplicada en medicina; b) Sistemas de liberación de fármacos/radiofármacos y dosimetría interna; c) Adquisición y procesamiento de imágenes radiológicas y de ultrasonido.

En el grupo LIB se realiza investigación en física de radiaciones aplicada a biología y medicina para: a) Desarrollar instrumentación para imagen molecular en animales pequeños y mama; b) Implementar técnicas de imagen molecular con nuevos detectores y algoritmos; c) Simulación Monte Carlo del transporte de radiación ionizante en materia y sus aplicaciones en imagenología y radioterapia. d) Dosimetría, numérica y de película radiocrómica, de haces de fotones en campos convencionales y no convencionales; e) Tomografía de rayos X y sus aplicaciones.

Perspectiva

De manera específica se ha considerado para la dosimetría básica y ciencia de materiales dosimétricos usados en medicina, que a mediano plazo se habrán estudiado procesos de depósito de energía por electrones secundarios de baja energía en la fase condensada de materiales dosimétricos expuestos a radiación ionizante, usando métodos computacionales de primeros principios; este programa podría ser de relevancia internacional. Se continuarán los estudios del efecto de la densidad de ionización en la respuesta de dosímetros de uso habitual, como dosimetría termoluminiscente y películas radiocrómicas, y se habrá incursionado en dosimetría de geles; este programa tendrá relevancia internacional. Ambas líneas representan liderazgo nacional en el tema de la dosimetría.

A largo plazo se espera haber establecido un modelo que conjunte los resultados teóricos y experimentales del efecto de la ionización en la respuesta de materiales dosimétricos en fase condensada y se trabajará en otros asuntos relacionados surgidos en el trabajo de los años previos. En cuanto los sistemas de liberación de fármacos/radiofármacos y dosimetría interna, se espera haber iniciado en mediano plazo estudios clínicos de teranóstica, es decir, técnicas de terapia y diagnóstico utilizando un mismo sistema de transporte de fármacos basados en inmunoliposomas específicos para células tumorales que sobre expresan EGFR y nanopartículas funcionalizadas. Este trabajo podría ser de relevancia internacional ya que son sistemas que conjugan radioterapia y quimioterapia con inmunoterapia. A largo plazo se seguirá trabajando en teranóstica del cáncer aplicada a procesos clínicos. En programa de nuevas técnicas y control de calidad de imagen médica anatómica y funcional, a mediano plazo se planea haber desarrollado biomarcadores de imagen radiológica y de ultrasonido para la caracterización no invasiva de la glándula mamaria humana y algunas de sus lesiones, y biomarcadores de ultrasonido cuantitativo y funcional para la caracterización del cérvix uterino en un modelo experimental de parto prematuro.

Dada la relevancia de los problemas de salud abordados, estos avances podrán ser de importancia en el contexto de la personalización del diagnóstico y tratamiento. Se seguirá trabajando para mejorar la calidad de las imágenes médicas en aras de un mejor servicio de salud en México. Nacionalmente, se mantendrá la posición de liderazgo que el grupo ha logrado en estas áreas. A largo plazo, se trabajará en la traslación clínica de los biomarcadores de imagen cuantitativa en procedimientos de diagnóstico, pronóstico y predicción de respuesta terapéutica. El grupo LIB tiene un notable potencial en el desarrollo de instrumentación y se considera que a mediano plazo podrá concluir la construcción de diversos dispositivos para implementar técnicas de imagen molecular y tomografía de rayos X competitivos en su área. Es posible a largo plazo, si las condiciones son favorables, la integración de un laboratorio nacional en esta área con la participación de los grupos del IF y de otras instituciones. Esta área de investigación cuenta con dos grupos de investigación. DOSIFICAME, constituido por cuatro investigadores y dos técnicos académicos, y por el LIB constituido por tres investigadores y un técnico académico.

Área 3. Física de Altas Energías

Esta área desarrolla investigación experimental con dos grupos de investigación, el de Astropartículas y Astrofísica de Altas Energías, vinculado al Laboratorio Nacional HAWC; y el grupo de Física Nuclear y Sub-Nuclear (FINSU). El Grupo de HAWC se enfoca al estudio del universo no térmico mediante la detección de rayos cósmicos y gamma de la más alta energía, es decir, alrededor de los TeV. También se desarrolla instrumentación asociada a la detección de radiación ionizante de alta energía y su posible aplicación a otras áreas diferentes de la Astrofísica. Participa en la operación y desarrollo de nuevos observatorios de rayos gamma.

La meta es mostrar evidencia experimental o fenomenológica que aporte elementos que permitan restringir o guiar los modelos teóricos con un alto impacto en la ciencia internacional.

El grupo FINSU se enfoca a la física nuclear, física de partículas y astropartículas; desarrollo de instrumentación original para investigación básica de frontera, como es la antimateria, la materia oscura, entre otras, así como sus aplicaciones. De manera específica: a) Estudios de la producción de núcleos, anti-núcleos e hipernúcleos en el LHC; b) Diseño, construcción, integración, instalación, pruebas y puesta en marcha del detector Vo+ para el experimento ALICE del LHC-CERN; c) Estudio del fondo de antideuterones en el experimento AMS; d) Diseño, construcción, integración, instalación, pruebas y puesta en marcha de un detector de muones para realizar la imagenología y el monitoreo del volcán Popocatepetl.

Perspectiva

En cuanto al estudio de rayos cósmicos y fuentes de rayos gamma de alta energía con el observatorio HAWC, éste será operativo por lo menos hasta el 2023. Se evaluará su potencial en el 2021 para este fin. En la colaboración se publican del orden de 20 artículos por año. En agosto 2019 se formó una nueva colaboración para el *Southern Wide field-of-view Gamma ray Observatory* (SWGGO) para definir cómo y dónde construir un nuevo observatorio en el hemisferio sur (en los Andes) que sea una versión mejorada de HAWC. En tres años se espera haber seleccionado el sitio, haber acabado el programa de investigación y desarrollo para los detectores y la electrónica, y haber construido un prototipo de ingeniería en el sitio final. Esto llevará a una nueva colaboración que se espera que a partir del 2022 obtenga los fondos necesarios para su realización y se construya el instrumento en un periodo aproximado entre 2022-2025 y con una proyección de operación de por lo menos por 15 años. Las perspectivas futuras del grupo FINSU en el corto y mediano plazos incluyen concluir el análisis de los datos sobre la producción de deuterones y antideuterones de AMS-02, el cual se encontrará al final de su vida útil en un medio plazo.

Para entonces se podrá definir si las anomalías hasta ahora observadas para el exceso de positrones y antiprotones también se reflejan en los canales de núcleos ligeros, lo que ayudará a eliminar o a confirmar su posible interpretación asociada con materia oscura. En este mismo plazo, los resultados del experimento ALICE, que se encontrará concluyendo su tercera corrida, permitirán determinar las secciones eficaces de producción de antinúcleos ligeros, llegando al anti-helio 4, lo que ayudará a entender con mayor precisión la magnitud del flujo cósmico secundario observado en AMS-02.

La primera fase del programa de investigación del volcán Popocatepetl, constituido por un trazador de muones (3 planos, de 30 módulos cada uno), deberá estar construida y en proceso de instalación en el volcán en el mediano plazo, siempre y cuando se cuente con los recursos

adecuados y continuos para el mismo. Actualmente HAWC cuenta con cuatro investigadores y siete estudiantes y FINSU está conformado por dos investigadores, un técnico académico y tres estudiantes.

Laboratorios en Física Experimental

El Departamento de Física Experimental cuenta con los siguientes laboratorios:

- 1) Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC)
- 2) Laboratorio Nacional HAWC de Rayos Gamma
- 3) Detectores (AMS, Vo+, ALICE)
- 4) Dosimetría (Termoluminiscente y Radiocrómica)
- 5) Física Médica e Imagen Molecular microPET/SPECT/CT
- 6) Física Médica y Ultrasonido
- 7) Imágenes Biomédicas
- 8) Irradiación con Rayos X
- 9) Nanoestructuras Ordenadas
- 10) Óptica Lineal
- 11) Pelletron

Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación

El Departamento de Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación se creó en el año 2017, en él se realiza principalmente investigación experimental en Física Nuclear, Interacción Débil, Materia Oscura, Neutrinos y Aplicaciones de la Radiación Natural e Inducida por Aceleradores.

Medida ultra precisa de concentraciones de isótopos radioactivos, cosmogénicos y antropogénicos: ^{14}C , ^{10}Be , ^{26}Al , ^{129}I y Pu , para datación y otras aplicaciones. Termodinámica en y fuera de equilibrio. Está integrado por 12 Investigadores y cinco Técnicos Académicos. A continuación, se describen las dos principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que se desarrollan en este departamento.

Área 1: Física Nuclear y Modelo Estándar

Este tema se ha desarrollado desde hace décadas en el IF, en particular este departamento se enfoca en el aspecto experimental. Entre las líneas de investigación asociadas se pueden citar los estudios de estructura nuclear mediante la irradiación con haces de iones positivos y la detección de productos de reacción (partículas cargadas, neutrones o fotones). El modelo estándar y sus extensiones también se estudian mediante la detección de neutrinos, la búsqueda de materia oscura y experimentos con neutrones.

La infraestructura de laboratorio requerida para estos estudios es muy importante: aceleradores de partículas y una gran variedad de dispositivos para la detección de radiación. Existe infraestructura esencial, como aceleradores de iones, al igual que instrumentación periférica para los experimentos. Asimismo, se cuenta con laboratorios dedicados al desarrollo y caracterización de la citada instrumentación básica para la detección de la radiación. Una de las características de esta área es la participación en grupos de investigación en países como Alemania, Italia, España, EUA, Canadá, entre otros. En esta área colaboran seis investigadores, dos técnicos académicos (uno tiempo parcial), tres becarios posdoctorales y 23 estudiantes asociados.

Perspectiva

En el área de física nuclear se contempla tener un promedio de realización de varios experimentos por año en los aceleradores. Se podrán explorar reacciones con haces de deuterio y protones, además de una serie de blancos gaseosos, como el nitrógeno y el oxígeno, utilizando el Jet Supersónico sin ventanas. Las altas intensidades de los haces de la línea LEMA para estables, se explotarán para el estudio de reacciones astrofísicas, combinando con AMS, como es el caso del ^{26}Al , entre otros radioisótopos.

Además, se espera realizar largas campañas de medidas de bajas secciones eficaces de las reacciones C+C, de notable interés en astrofísica a nuestros días. También se planea la realización de experimentos de dispersión de protones en ^{208}Pb , y otros núcleos doblemente mágicos, en el régimen de Coulomb, con lo que podrían buscarse interacciones exóticas con impacto en teorías de dimensiones adicionales de espacio-tiempo y la búsqueda de materia oscura. La continua modernización de los sistemas de adquisición de datos y los sistemas de detección, permitirán que ambas máquinas contribuyan a la realización de medidas de interés actual en dinámica nuclear, estructura nuclear y física fundamental a mediano plazo, consolidando la línea de LEMA y demostrando la valía de máquinas robustas.

En paralelo, se espera poder continuar la realización de mediciones en laboratorios internacionales para el entendimiento de la estructura y la dinámica nuclear de núcleos radiactivos y débilmente ligados. En los próximos años, se espera contar con robustos

sistemas de detección que puedan viajar a distintos laboratorios en el mundo, para contribuir a la realización de las mediciones antes mencionadas, como ya ocurrió recientemente en un experimento en la Universidad de Notre Dame, en Estados Unidos.

Se propone continuar el liderazgo en experimentos de frontera en colaboraciones internacionales a largo plazo. Actualmente se desarrollan, y se tienen compromisos a mediano plazo, con el fin de desarrollar dispositivos electromagnéticos para la manipulación y transporte de espín de neutrones y otras especies, en experimentos que buscan posibles interacciones exóticas, mejorar nuestro entendimiento de la interacción débil hadrónica así como evidencia de violaciones a la simetría CP en la interacción fuerte. Adicionalmente, se inicia el desarrollo del laboratorio subterráneo en Mineral del Chico, ubicado en el estado de Hidalgo, para física aplicada y fundamental, además de actividades educativas.

Área 2: Aplicaciones de la radiación

Las fuentes de radiaciones utilizadas abarcan fotones en el ultravioleta, rayos X; iones para espectrometría de masas con acelerador, técnicas analíticas de origen nuclear, entre otros. En particular la espectrometría de masas con aceleradores destaca debido a que el IF cuenta con el Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA), el cual funciona desde junio del 2013. En este laboratorio se hacen estudios arqueológicos, forenses, ambientales, entre otros. Aquí hay una amplia colaboración con grupos nacionales e internacionales.

Adicionalmente, se estudia, tanto teórica como experimentalmente, la estructuración microscópica disipativa de moléculas fundamentales de la vida bajo luz ultravioleta, mientras que los rayos X se aplican en estudios ambientales, de materiales y química de alimentos. Además, las técnicas con haces de iones se emplean en ciencia de materiales y temas ambientales. También se hace investigación acerca de cantidades físicas básicas de las interacciones iones-materia y emisión de rayos X. Para esto se tienen tres grandes laboratorios y varios de menores dimensiones para análisis y preparación de muestras. En este campo intervienen siete investigadores, tres técnicos académicos (uno de ellos compartido con el área 1), tres laboratoristas de base y 19 estudiantes asociados.

Perspectiva

En el área del análisis con ^{14}C , en el mediano plazo se planea continuar con la ejecución de programas en disciplinas como Arqueología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Forenses. Debe mantenerse la certificación bajo las Normas ISO9001-2015 y 17025 para la datación con ^{14}C . Dada la probada consolidación de las medidas de radiocarbono para el fechamiento, tratándose de AMS, se dará impulso a las medidas que involucren otros radioisótopos, es el caso de radionúclidos como el ^{10}Be y el ^{26}Al , ambos de interés notable en las Ciencias de la

Tierra. Se espera continuar estableciendo colaboraciones con distintos grupos para el análisis continuo de muestras de todo tipo: agua, hielo, aerosoles, sedimentos y rocas. Con ello se espera que el LEMA se convierta en el referente nacional para medidas en AMS, buscando cada vez más que tales mediciones se desarrollen en un Laboratorio Nacional. A mediano plazo se espera que las medidas de concentraciones en ^{10}Be y ^{26}Al hayan contribuido al entendimiento del clima, las condiciones atmosféricas, el transporte marino y volcánico y el comportamiento de ciclos solares, entre otros casos de estudio.

Otras líneas de investigación en este departamento son el desarrollo de un calorímetro para medición de dosis de haz de electrones. Estudios teóricos sobre la termodinámica de equilibrio irreversible de nanopartículas.

Laboratorios en Física Nuclear y Aplicaciones de la Radiación

El departamento cuenta con los siguientes laboratorios:

- 1) Laboratorio Nacional de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA)
- 2) Laboratorio del acelerador Van de Graaff de 5.5 MV (en reparación)
- 3) Laboratorio del acelerador de electrones de 2 MV (en reestructuración)
- 4) Laboratorio de aerosoles
- 5) Laboratorio de neutrinos y materia oscura
- 6) Laboratorio de detectores de radiación
- 7) Laboratorio de instrumentación para estudios de neutrones

Física Química

El departamento está formado por 14 investigadores y tres técnicos académicos, que se integran en cinco grupos experimentales y seis grupos teóricos. El objetivo del departamento es realizar investigación de frontera, experimental y teórica, en temas de materia condensada blanda, estado sólido, nanociencias y física química. Las líneas de investigación que se cultivan en el departamento abarca el estudio de la materia a la escala nano, meso y macroscópica, asociada a temas de frontera de la física, tales como: Autoensamblaje supramolecular y sus consecuencias en el comportamiento viscoelástico en fluidos; transferencia de calor en sistemas plasmónicos; actividad óptica de nanopartículas metálicas con ligandos orgánicos quirales; plasmónica y fenómenos físicos y químicos en superficies;

nanocúmulos bimetálicos e influencia del sustrato en las propiedades de cúmulos metálicos soportados; tribología; estructura de banda de materiales compuestos a base de colestéricos elastómeros y nano inclusiones metálicas; física de coloides; superconductores anisotrópicos; entre otros.

A continuación, se describen las tres principales áreas de investigación del departamento y se enlistan otras líneas de investigación que también se desarrollan en él.

Área 1: Física computacional de la materia condensada

El objetivo del desarrollo de la física computacional de la materia condensada es resolver numéricamente y a distintos niveles de aproximación el problema de muchos cuerpos que está detrás del estudio de las propiedades físicas de la materia y su interacción con campos electromagnéticos. Los enfoques y métodos de aproximación para resolver los problemas más complejos de la física se apoyan en algoritmos computacionales avanzados que, gracias al progreso en el desarrollo de algoritmos numéricos y computadoras cada vez más eficaces, permite que las predicciones numéricas tengan una precisión comparable con la de los experimentos.

Esta área cubre un amplio espectro de temas en donde se requiere unir enfoques a distintas escalas, tanto clásicas como cuánticas, tales como: a) Propiedades ópticas de los materiales nanoestructurados; b) Estructura electrónica a distintos niveles; c) Interacciones moleculares en superficies; d) Modelos tipo Hubbard de sistemas fuertemente correlacionados; e) Interacciones colectivas; y f) Diseño de nuevos materiales. Para lograr un alto impacto se tiene como premisa central el desarrollo de teorías y la implementación de sus algoritmos en nuestro Instituto, en donde se cuenta con una amplia tradición en el desarrollo e implementación de nuevos algoritmos.

El desarrollo de estos algoritmos computacionales garantiza que el alcance de los métodos desarrollados pueda ser extendido a otros problemas, para los cuales no fueron específicamente diseñados, pero que comparten los fundamentos esenciales de la física. Esta área es desarrollada por cinco investigadores titulares, incluyendo becarios posdoctorantes, así como estudiantes de doctorado, maestría, y de servicio social.

Perspectiva

Las perspectivas de esta área de investigación a mediano plazo incluyen el desarrollo de las siguientes metodologías: a) Multiescala para atacar propiedades ópticas, de transporte de sistemas grandes, así como cinética y dinámicas a tiempos más largos; b) Algoritmos de simulación de técnicas espectroscópicas; c) Dinámicas moleculares ab-initio; d) Métodos computacionales de aprendizaje automático (*machine learning*).

Área 2: Física de las superficies e interfaces

El objetivo de esta área es el estudio de los fenómenos físicos que ocurren en las superficies e interfaces: sólido-sólido, sólido-gas y sólido-líquido. Entre los fenómenos de interés en el Departamento de Física Química, están: reactividad química, fenómenos ópticos en las superficies, tribología y tribo-generación de rayos X, mojado y puntos de anclaje, estados electrónicos superficiales, entre otras cosas. Estos fenómenos en los nano sistemas son de interés para esta área.

La presencia de interfaces lleva naturalmente a conceptos de confinamiento cuántico o clásico. Los intereses de los investigadores asociados a estos problemas incluyen sistemas de cero, una y dos dimensiones, así como materiales heterogéneos híbridos. Esto es, sólidos que se integran por varios componentes con características físicas individuales, donde su combinación exhibe traslape espectral de resonancias individuales (ópticas, electrónicas, mecánicas, magnéticas, entre otros.). La interacción entre los componentes resonantes permite generar sistemas nuevos con respuestas no triviales. También son temas de interés de esta área, los metamateriales, heteroestructuras de materiales en 2D, combinaciones de materiales con confinamiento cuántico, entre otros.

Perspectiva

El área de investigación está compuesta por 11 investigadores con líneas independientes, pero que se intersectan, lo que permite estudiar estos fenómenos físicos desde una aproximación multidisciplinaria teórica-experimental. Un objetivo específico es crear mayor sinergia entre los grupos para atacar desde diferentes perspectivas los problemas que se abordan. Consolidar y generar nuevas interacciones entre los diferentes integrantes del área con énfasis en estudios teóricos y experimentales en: a) Acoplamiento fuerte entre luz y materia; b) Catálisis por átomos individuales; c) Propiedades electrónicas de superficies 2D; d) Propiedades optoelectrónicas de puntos cuánticos de semiconductores; e) Termodinámica fuera de equilibrio.

Área 3: Física de los Fluidos Complejos

Esta área se dedica al estudio experimental del autoensamblaje, así como el arresto dinámico que lo evita, dirigido por la termodinámica o en condiciones lejos de equilibrio, tanto de moléculas (anfífilos, polímeros, proteínas, etc.), como de partículas coloidales homogéneas o Janus. Es particularmente importante para esta área, las características de las estructuras supramoleculares o mesoscópicas que se forman por el autoensamblaje y como afectan éstas al comportamiento macroscópico de los fluidos en los que se encuentran embebidos y que permitirían entonar sus propiedades.

Los estudios específicos que se encuentran en curso son: a) La relación entre estructura y comportamiento reológico, micro-reológico y formación de bandas en sistemas formados por estructuras filiformes, como polímeros semi-rígidos, micelas tubulares gigantes, nanotubulos, entre otros; b) Interacción entre partículas coloidales en atrapados en intercaras y las consecuencias del arresto dinámico de partículas coloidales en intercaras que forman *bijels* o emulsiones Pickering; c) Propiedades térmicas, elásticas y ópticas de sistemas con estructura de mesofases y elastómeros mesofásicos.

Perspectiva

En un mediano plazo se espera finalizar el estudio de la obtención de las escalas mesoscópicas obtenidas por micro-reología y su comparación con los resultados obtenidos por técnicas de dispersión de rayos X o neutrones a ángulos bajos. Finalizar con el estudio de la formación y estabilidad de las bandas en la dirección del gradiente en sistemas formados por micelas tubulares.

Finalizar el estudio de la interacción entre partículas coloidales atrapadas en intercaras. Estudiar las consecuencias del arresto dinámico de partículas coloidales en intercaras.

Laboratorios en Física Química

- 1) Reactividad Catalítica de Nanomateriales I y II
- 2) Laboratorio de Grafeno (en reestructuración)
- 3) Nanofotónica Avanzada
- 4) Fluidos Complejos I, II y III
- 5) Dispersión de Luz
- 6) Superficies y Tribología
- 7) Nanociencia Computacional

Física Teórica

El departamento realiza labores de investigación de fenómenos físicos que van desde lo más fundamental hasta lo aplicado, así como la enseñanza y difusión de estos en las siguientes áreas: Partículas elementales, teoría de campos, astropartículas y cosmología; Fenómenos

colectivos clásicos y cuánticos; Física Atómica, Nuclear y Molecular; Mecánica Cuántica y Física Matemática, y la relación entre ellos. El departamento, está integrado por 24 investigadores.

Adicionalmente, se cuenta con investigadores posdoctorales y estudiantes asociados, tanto de posgrado como de licenciatura. Las tres principales áreas de investigación que se desarrollan son las siguientes.

Área 1: Partículas Elementales, teoría de campos, astropartículas y cosmología

Esta área se enfoca en el estudio de los bloques fundamentales de la materia y sus interacciones, su conexión con los procesos astrofísicos, así como el origen y evolución del Universo. El formalismo matemático en esta área incluye sobre todo a la teoría del campo, la teoría de grupos y la física estadística. Las líneas de investigación principales son: a) Fenomenología del Modelo Estándar (ME), medidas de precisión electrodébiles, procesos hadrónicos: ajustes, modelos y primeros principios; b) Física más allá del ME, física de neutrinos, física del sabor, supersimetría, teorías de Gran Unificación, teoría de cuerdas, violación de CP y T, modelos extendidos de espín; c) Física de Astropartículas, neutrinos, materia oscura, energía oscura, bariogénesis, leptogénesis; d) Cosmología, modelos termodinámicos de energía oscura, origen y dinámica de la energía oscura y de la materia oscura, campos escalares en cosmología, cosmología observacional, estudios cosmológicos de estructuras a gran escala, formación de estructura, inflación; e) Existen en cada área colaboraciones teórico experimentales, tales como, partículas: P2, Moller, Belle2, CLAS12, SoLID; Astropartículas: PICO, HAWC; Cosmología: SDSS-IV/eBOSS, DESI.

Perspectiva

El grupo de Altas Energías y Cosmología se está consolidando con visibilidad a nivel internacional. Se han iniciado colaboraciones en la interfase entre la teoría y el experimento en varias áreas: astropartículas, medidas de precisión, cosmología, física hadrónica, neutrinos, durante los siguientes años se espera: a) Fortalecer la incidencia en las tres fronteras de la investigación de partículas elementales: de la energía, de la intensidad y la cósmica, así como las distintas teorías que puedan ser probadas en dichos escenarios; b) Como parte del punto anterior, se requiere fortalecer las colaboraciones con los grupos experimentales tanto a nivel local como con colaboraciones internacionales. Entre estas se encuentran a futuro el CEPC, HL-LHC y el FCC-ee; c) Fortalecer las líneas de investigación experimentales y observacionales asociadas a temas de Cosmología y Astropartículas; d) Fortalecer el enfoque de métodos contemporáneos de Materia Condensada en Física de Partículas Elementales, tanto en aspectos perturbativos como no-perturbativos; e) Se espera que el grupo se consolide como un referente a nivel nacional.

Área 2: Física cuántica y física matemática

Las líneas de investigación del área abarcan un amplio espectro de fenómenos que ocurren a escala cuántica. Los enfoques adoptados implican el desarrollo de las herramientas matemáticas apropiadas para describir los sistemas de interés, el análisis de su significado físico y el estudio de sus implicaciones y aplicaciones. Líneas actuales: a) Fundamentos de mecánica cuántica. Fundamentación física de la teoría cuántica. Electrodinámica estocástica. Mecánica cuántica como fenómeno emergente. b) Tiempo en mecánica cuántica relativista. Operador de tiempo dinámico y su relación con el rompimiento de simetrías y gravedad cuántica. c) Problema de la medición. Modelo de von Neumann y su relación con la función de Wigner. d) Aspectos no hermitianos de la mecánica cuántica. e) Superintegrabilidad. f) Fenómenos de transporte. Transporte electrónico en sistemas desordenados y transporte térmico. g) Propiedades físico-matemáticas de la mezcla y degeneración de resonancias y de estados ligados del continuo. h) Fenómenos colectivos cuánticos. Condensación de Bose-Einstein en sistemas periódicos. Correlaciones en sistemas fermiónicos. i) Teoría de campos. Aspectos térmicos y no lineales. Teorías bidimensionales de campos y efecto Hall cuántico. j) Física atómica y molecular. Átomos confinados. Desarrollo de métodos mecánico-cuánticos y sus aplicaciones a sistemas moleculares. k) Correlaciones cuánticas. Dinámica, cuantificación y detección de enredamiento.

Perspectiva

La física cuántica ha heredado problemas de fundamentación que continúan siendo de interés y relevancia para una buena comprensión de los fenómenos cuánticos. Las investigaciones teóricas en este campo cobran actualidad y adquieren perspectivas novedosas frente a los avances experimentales a escalas de partículas individuales, dimensiones nanométricas y tiempos de atosegundos. Por otro lado, algunos aspectos modernos de mecánica cuántica incluyen el estudio de los operadores Hamiltonianos en el espacio de parámetros de los sistemas, con aplicaciones en física molecular, atómica, nuclear y de partículas elementales.

A mediano plazo se espera: continuar desarrollando la fundamentación de la teoría cuántica tanto desde la perspectiva de la electrodinámica estocástica como desde nuevos enfoques. Se continuará y extenderá la investigación de problemas actuales y fundamentales relacionados con las correlaciones cuánticas, el límite cuántico-clásico, la dualidad partícula-onda, la descripción en el espacio fase de la mecánica cuántica, el origen y la naturaleza del espín y otras propiedades emergentes, así como con las líneas de investigación que emerjan de los avances más recientes en el área. Como parte del programa de reforzamiento del campo, se colaborará en el desarrollo e implementación del paquete de materias de Mecánica Cuántica para la licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias.

Área 3: Materia Condensada, Fenómenos Colectivos y Temas Interdisciplinarios

Materia condensada teórica a) Transporte electrónico en un conductor desordenado: propiedades estadísticas de la densidad electrónica en el interior del sistema. b) Transporte térmico en un sistema elástico desordenado: propiedades estadísticas del desplazamiento elástico en el interior del sistema. c) Conexión entre 1) y 2) a través de nuestra teoría de transporte, conocida como "Modelo de: Dorokhov, Mello, Pereyra y Kumar". d) Física de muchos cuerpos cuánticos. Desarrollo de herramientas de cómputo y métodos numéricos de alto rendimiento, métodos de Monte Carlo cuánticos: variacional, difusivo y "path integral", para describir propiedades de sistemas de muchas partículas cuánticas. e) Fenómenos cuánticos con manifestaciones macroscópicas: Superconductividad, superfluides, condensación de Bose-Einstein, transiciones de fase clásicas y cuánticas. f) Teoría de Campos aplicados a Materia Condensada. g) Dinámica Molecular, Teoría Funcionales de la Densidad (DFT). Fenómenos colectivos tales como; a) Ondas en sistemas elásticos y gigantes. b) Superintegrabilidad en átomos, moléculas, fluidos, sistemas electromagnéticos, y radiación electromagnética. c) Electromagnetismo de átomos confinados. d) Estudio de procesos físicos, químicos y biológicos al nivel molecular. e) Investigación de las propiedades y comportamiento de moléculas, nanocúmulos y material extendida. f) Diseño de compuestos novedosos usando herramientas de física y química computacional, como inteligencia artificial. g) Correlaciones electrónicas en átomos y moléculas. h) Enfoque variacional del problema relativista y de la electrodinámica cuántica. i) Desarrollo y optimización de programas modulares para cálculo ab-initio de estados estacionarios en átomos y moléculas.

Perspectiva

Una de las líneas a desarrollar es la de predecir las propiedades de los sistemas de muchos cuerpos cuánticos interactuantes y a cualquier densidad, lo cual ha sido posible mediante la simulación por computadoras usando métodos de Monte Carlo Cuántico. Dada la relevancia y crecimiento exponencial de las simulaciones moleculares en los últimos años, resulta primordial realizar investigación en los métodos *DIVIDE-AND-CONQUER*, usando la última tecnología de hardware, como lo son las tarjetas gráficas, GPUs, e incluyendo inteligencia artificial.

Desarrollar una línea en aspectos de teoría del campo usando tanto métodos de materia condensada como de partículas elementales para lograr una retroalimentación y colaboración entre las dos áreas. El estudio de fenómenos en materia condensada y en partículas elementales se ha visto beneficiado por el desarrollo de metodologías y conceptos compartidos. El avance y comprensión de las propiedades de nuevos materiales, así como de diversos aspectos en cosmología y física de partículas elementales requerirá apoyar el desarrollo de grupos de trabajo dedicados al estudio de las interrelaciones entre dichas

disciplinas científicas. Se espera desarrollar esta área tanto en aspectos teóricos como en aplicaciones en el mediano plazo.

Otras líneas de investigación: a) Sismología. b) Estadística de conjuntos con mega número de elementos: Palabras en lingüística. c) Impulso para la construcción de una Fuente de Luz de Sincrotrón y la investigación en física de aceleradores. d) Publicaciones científicas y acceso abierto. Latindex <https://latindex.org>, creado en 1995 y la Ley de Acceso Abierto aprobada por el Senado en 2014.

Materia Condensada

El departamento fue creado a finales de la década de los 70s. Actualmente su planta académica está constituida por 16 investigadores, nueve técnicos académicos y dos laboratoristas. Los académicos del Departamento de Materia Condensada (DMC) realizan investigación teórica y experimental sobre la estructura y propiedades de la materia en su estado condensado.

Adicionalmente participan en la formación de recursos humanos impartiendo cursos regulares y dirigiendo tesis a nivel posgrado y de licenciatura. Entre las investigaciones que se realizan en el DMC se tiene el análisis estructural y cristalográfico de materiales por difracción de rayos X y de electrones, así como el estudio de las propiedades estructurales de materiales nanométricos, sistemas unidimensional, películas delgadas y biomateriales.

Se estudian las propiedades ópticas, térmicas, electrónicas, mecánicas y magnéticas de materiales, la producción y caracterización de películas delgadas de moléculas conductoras, así como el diseño y síntesis de contactos conductores transparentes y películas delgadas con potenciales aplicaciones en áreas de ahorro de energía. En el campo de las nanoestructuras se estudia además de la estructura y síntesis de nanopartículas, los cementos de alto desempeño mecánico con nanopartículas de minerales. Adicionalmente, dentro de las líneas de investigación que se desarrollan en el DMC, se encuentran los estudios y aplicaciones de las radiaciones ambientales, dosimetría ambiental, contaminantes radiológicos ambientales en agua, aire, suelo y alimentos, metodología de trazas nucleares en sólidos, termoluminiscencia, interacción de la radiación ionizante con materiales, así como el estudio de instrumentación electrónica nuclear y aplicaciones. Las dos principales áreas de investigación que se desarrollan en el DMC son las siguientes.

Área 1: Grafeno

El grafeno es un material cuya característica estructural principal es la de ser un material bidimensional constituido por átomos de carbono, ordenado en celdas hexagonales, sus potenciales aplicaciones son muy variadas y contempla a la industria automotriz, la médica

comunicaciones y la electrónica, entre otras. En este sentido, investigadores del DMC sintetizan grafeno y su óxido empleando diferentes técnicas. El grafeno y su óxido son dopados con materiales orgánicos y/o inorgánicos. Los dopantes inorgánicos son metales, óxidos, nitruros, carburos y sulfuros.

Los dopantes orgánicos son empleados principalmente para la funcionalización del grafeno y su óxido. Ello con la idea de formar superestructuras híbridas, y para investigarlos como portadores de fármacos que serán liberados de forma controlada. Asimismo, se buscan otras aplicaciones novedosas en el área médica, y en catálisis heterogénea. La concentración del dopaje es desde niveles muy bajos, para tener átomos o moléculas aisladas sobre el grafeno, hasta valores en donde el dopante forme nanopartículas soportadas en el grafeno o en su óxido. De estas nanopartículas, las bidimensionales son de especial interés; por ejemplo, monocapas de H₂O, de ZnO, de Sb₂O₃ o de MoS₂. Las propiedades electrónicas especiales de grafeno cambian las propiedades electrónicas de los materiales dopantes, sean estos átomos o moléculas aisladas, monocapas, o nanopartículas tridimensionales soportadas. Los dopantes inorgánicos pueden ser metales (Au, Pt, Pd, Ag, Ni, Fe, Co, entre otros), óxidos (ZnO, Fe₂O₃, Sb₂O₃, H₂O), nitruros o sulfuros (H₂S, MoS₂, Bi₂S₃). Como parte de las aplicaciones se desarrollarán membranas de grafeno para la purificación de agua, y bicapas de grafeno con óxido de zinc para ser usados como electrodos transparentes en dispositivos electrónicos. En esta área participan 12 investigadores, siete técnicos académicos y 12 estudiantes.

Perspectiva

Dada la importancia del grafeno en el contexto internacional, de manera estratégica se han creado institutos de investigación dedicados a su estudio, tanto desde el punto de vista de la ciencia básica como de sus aplicaciones. Por ejemplo, el Instituto Nacional de Grafeno (NGI), en la Universidad de Manchester, Reino Unido, el proyecto Graphene Flagship de la Comunidad Europea con una inversión actual de mil millones de euros y la Asociación Nacional del Grafeno (NGA), en Estado Unidos de América. A nivel internacional hay una actividad intensa relacionada con las aplicaciones de este material.

Lo anterior refleja la importancia del grafeno por sus aplicaciones. Esto conlleva en los próximos años una intensa investigación sobre la ciencia básica y aplicada relacionada con grafeno y con los materiales con los que interactúa. A nivel nacional, no ha habido grandes proyectos sobre el estudio y las aplicaciones del grafeno. De manera aislada, existen grupos que realizan investigaciones sobre este material en las diferentes universidades del país y en los Centros CONACyT. Existe también una incipiente empresa (Graphenemex) que tiene la intención de producir grafeno, pero sin una aplicación específica.

Es deseable que, de las actividades de investigación relacionadas con el grafeno, surjan pequeñas empresas que hagan desarrollos específicos para generar productos competitivos

y viables de comercializar en nuestro entorno, o a nivel internacional. De la actividad de investigación que se realiza en el departamento alrededor del grafeno, se espera, en una primera etapa, hacer contribuciones originales al conocimiento, que sean publicables en revistas internacionales indizadas, y que además sirvan de soporte para los investigadores dedicados a sus aplicaciones, y para aquellos que se vinculen con el sector productivo.

Área 2: Inteligencia Artificial en la Física

Se emplean técnicas de inteligencia artificial para la predicción de nuevas distribuciones atómicas con simetría de traslación. Las predicciones se validan con cálculos cuánticos moleculares o cálculos cuánticos con condiciones periódicas, si es viable, se sintetizan los materiales. Empleando estas técnicas se generan potenciales de interacción entre los átomos de un sistema de interés, sea este un cúmulo atómico (ordenado o amorfo), o un sistema descrito por una distribución atómica cristalina. Se parte de cálculos de mecánica cuántica de cúmulos o superceldas con simetría de traslación de los sistemas de interés, con los cuales se determinan las variables de entrada y de referencia que requiere la técnica de inteligencia artificial empleada. Estas técnicas de inteligencia artificial a la física, que emplean también para la predicción de la simetría que tiene la distribución de los átomos de un compuesto nuevo. Para ello se modelan los patrones de difracción de rayos X de más de 130,000 compuestos cuya cristalografía es conocida. Estos patrones de difracción, junto con la información cristalográfica correspondiente, se alimentan a la técnica de inteligencia artificial seleccionada, para que haga una asociación entre el patrón de difracción de rayos X y la cristalografía. Con ello, es posible predecir la simetría de la distribución de los átomos de un compuesto nuevo, proporcionando al sistema inteligente solo el patrón de difracción medido del compuesto nuevo.

Se tiene programado realizar algo semejante al punto anterior empleando difracción de electrones en lugar de difracción de rayos X. Dado que de las investigaciones del DMC se genera una cantidad considerable de micrografías de difracción de rayos X, y en general de microscopía electrónica, estamos contemplando usar las técnicas de inteligencia artificial para el procesamiento de imágenes, así como para reconocer objetos en las mismas. En esta área participan nueve investigadores, tres técnicos académicos y nueve estudiantes.

Perspectiva

Hacia finales del siglo pasado y la primera década del presente siglo, las técnicas de inteligencia artificial habían tenido muy pocas aplicaciones en las ciencias, en el desarrollo tecnológico, y en el comercio. Sin embargo, en los últimos 10 años, su aplicación por grandes compañías como Google, Amazon, Facebook, Baidu, Netflix, y los fabricantes de celulares como Huawei, Apple, Samsung, LG, han revolucionado su uso. Estas aplicaciones y las

correspondiente en sistemas autónomos (robots, autos, drones) ha reposicionado a las técnicas de inteligencia artificial y sus aplicaciones como el motor del desarrollo tecnológico y comercial del futuro de las próximas décadas.

Estas exitosas aplicaciones de la inteligencia artificial indujeron a que algunos pocos grupos de investigación en física, química, y ciencia de los materiales buscarán aplicarlas en sus investigaciones. El reducido número de expertos en inteligencia artificial disponibles a realizar estas aplicaciones se debe probablemente a que los expertos en las aplicaciones y los recursos humanos que formaron fueron absorbidos por las empresas anteriormente mencionadas.

Además, actualmente un gran número de empresas se han interesado en emplear estas técnicas para mejorar sus productos y sus ventas. Lo anterior demanda la formación de un gran número de recursos humanos expertos en estas técnicas de inteligencia artificial, que actualmente son escasos.

En el área de inteligencia artificial en la física se ha iniciado con tres aplicaciones específicas: descubrir nuevos materiales, generar potenciales que describan la interacción entre átomos, y determinar la simetría de la distribución de los átomos en un compuesto nuevo. En el ámbito internacional, se está dentro de los pocos grupos que realizan este tipo de aplicaciones, lo cual actualmente nos hace muy competitivos en este ámbito. En el ámbito nacional, no se tiene conocimiento de que algún grupo de investigación este realizando este tipo de aplicaciones de la inteligencia artificial.

Para la predicción de nuevos materiales, en la primera etapa se trabajó en la predicción de nuevos compuestos con una estructura cristalina del tipo perovskita, se predijeron decenas de nuevos compuestos, muchos de los cuales se han validado mediante cálculos moleculares. Esta aplicación se extenderá para predecir compuestos que tengan otro tipo de estructura cristalina; por ejemplo, la de la espinela, la de rutilo, entre otras.

La generación de potenciales de interacción entre átomos que proporcionen valores de la energía con la precisión de los cálculos cuánticos a partir de los cuales se generaron, ha sido aplicado a la alfa alúmina. El potencial obtenido ha dado buenos resultados: se ha usado para realizar cálculos de dinámica molecular de alfa alúmina hasta tiempos de 0.2 nanosegundos, y cálculos de energía de cúmulos de alfa alúmina con dimensiones del orden de 20 nm (alrededor de un millón de átomos). En esta primera etapa se ha desarrollado la metodología, incluyendo el tipo de cálculos cuánticos que se requerían para alimentar al sistema de inteligencia artificial. Actualmente se están generando datos para diferentes sistemas en los que se quiere generar el potencial correspondiente. Dentro de ellos están los polimorfos de Titania, H₂S líquido, la interacción grafeno con agua, entre otros.

Para la predicción de la simetría de la distribución atómica de nuevos compuestos, actualmente se está trabajando en la generación de los datos con que se alimentará el sistema de inteligencia artificial que hará las predicciones. Esto implica, en una primera fase, la generación de más de 100,000 patrones de difracción de rayos X de compuestos cuya cristalografía es conocida. Estos patrones deben contener las aberraciones del difractor en donde se medirá el patrón de difracción de rayos X de la muestra nueva. Esto permitirá tener una buena predicción de la simetría de la distribución atómica de esta muestra. A futuro se extenderá esta aplicación, pero en lugar de emplear difracción de rayos X para describir la simetría de la distribución atómica, se empleará difracción de electrones.

Conforme dominemos estas dos últimas aplicaciones, se buscará realizar aplicaciones para predecir compuestos, o identificar compuestos empleando otras técnicas como resonancia magnética nuclear, espectroscopia de infrarrojo, o espectroscopia Raman.

Actualmente se están realizando actividades sobre el aprendizaje de sistemas autónomos para darle una aplicación en arqueología. A futuro, se pretende aplicar el conocimiento adquirido sobre esta técnica en el manejo de instrumentación empleada en la física experimental.

Laboratorios en Materia Condensada

- 1) Películas Delgadas y Recubrimientos
- 2) Física de Nuevos Materiales
- 3) Materiales Avanzados
- 4) Síntesis de nanomateriales
- 5) Electrónica Molecular
- 6) Nanomateriales magnéticos
- 7) Aplicaciones de la Dosimetría
- 8) Crecimiento de Cristales
- 9) Fotónica del Silicio
- 10) Magnetómetro SQUID

11) Cristalografía y Materiales Naturales

12) Refinamiento de Estructuras Cristalinas

Sistemas Complejos

Desde su creación en 1990, el Departamento de Sistemas Complejos tiene como objetivo principal desarrollar investigación de frontera en el área de la complejidad, incluyendo temas de física estadística, dinámica no lineal, física cuántica, sistemas de baja dimensionalidad y estructuras moleculares complejas. Las investigaciones que se realizan abarcan estudios teóricos de física fundamental hasta aplicaciones interdisciplinarias.

Los miembros del departamento participan en colaboraciones nacionales e internacionales, así como en la formación de recursos humanos a través de la dirección de tesis de nivel Licenciatura, Maestría y Doctorado, además imparten regularmente cursos en relación con las líneas de investigación que cultivan. Se han recibido becarios posdoctorales y profesores invitados a lo largo de los años y participa en la organización de eventos académicos.

Área 1: Sistemas Complejos – Física Estadística – Física Biológica

Dentro de esta área, los investigadores del departamento cultivan las siguientes líneas de investigación: Dinámica de sistemas biológicos y sociales: formación de patrones, materia activa, distribuciones de rango, dinámica de ecosistemas, dinámica social, forrajeo, redes complejas, teoría de juegos; dinámica no lineal, caos y procesos estocásticos; física estadística de sistemas fuera de equilibrio; inteligencia artificial, aprendizaje automático, redes neuronales.

Perspectiva

Dentro de los retos científicos a abordar a corto plazo están los siguientes:

a) Demostrar la equivalencia entre los dos paradigmas principales sobre el entendimiento de los sistemas complejos en las últimas décadas: borde del caos y criticalidad. Los sistemas complejos se estructuran y evolucionan situándose en el borde del caos o en la criticalidad, la pregunta a responder es, ¿Puede corroborarse si son equivalentes? b) Se debe revelar las clases de universalidad (como en el fenómeno crítico) para las distribuciones jerarquizadas de datos (magnitud/rango, frecuencia/rango). Ubicar en el equivalente de la dimensión frontera a las leyes empíricas de Zipf y Benford. Demostrar que la Teoría de Números juega un papel central (en particular los números Primos) en la racionalización de este tema central de los sistemas complejos. c) Establecer el fundamento físico de la hipótesis denominada

'Criticalidad Auto Organizada' mediante un modelo térmico, mecánico estadístico, análogo a la dinámica no lineal hacia los atractores que forman la cascada de duplicación de periodos. Mostrar que los 'Demonios de Maxwell' empleados en un principio reflejan una familia de transiciones de fases. d) Se deberá esclarecer como las 'Redes de Visibilidad Horizontal' obtenidas de series de tiempo formadas por trayectorias a lo largo de la cascada de duplicación de periodos obedecen una estructura mecánica estadística. Señalar el papel central de la entropía de la distribución de conectividad. Extender estos avances a las otras dos rutas al caos (intermitencia y cuasi periodicidad). e) Extender la analogía desarrollada anteriormente entre la transición de localización para transporte cuántico y la bifurcación tangente en la dinámica no lineal al caso de localización de ondas clásicas (luz, sonido). Demostrar, vía el modelo de dispersores desarrollados por investigadores del departamento, que los estados coherentes proporcionan una novedosa aplicación al movimiento colectivo (parvadas, cardúmenes). f) Encuadrar modelos matemáticos líderes en ramas establecidas de los sistemas complejos (Daisyworld, por ejemplo) bajo nuestro esquema dinámico no lineal y responder sus interrogantes aún pendientes. Una estrategia es, como hemos procedido previamente, enmarcarlos en el lenguaje de la Teoría de Juegos. Generar aplicaciones a especies invasivas, estratificación social, auto regulación de la biósfera. g) Describir la evolución de ecosistemas (biológicos, urbanos, tecnológicos) mediante adecuaciones apropiadas a nuestro modelo construido previamente basado en secuencias de transiciones al caos vía intermitencia que reproducen estados cuasi estables ('Punctuated Equilibrium'). h) Construir (una primacía en el campo) un modelo de evolución de la diversidad, árboles filogenéticos, que muestra por primera vez una conexión con la dinámica no lineal y sus rutas al caos. En su formato base el modelo está representado por la cascada de duplicación de periodos, y la diversidad se cuantifica vía la sensibilidad a condiciones iniciales y la identidad de Pesin en el borde del caos.

Revelar los mecanismos que generan las distribuciones de sumas de posiciones a lo largo de las cascadas de duplicación de periodos y de bandas caóticas.

Estas distribuciones ya determinadas cuantitativamente corresponden a rasgos prominentes dentro de la teoría del grupo de renormalización. Ubicar sus manifestaciones en los sistemas complejos bajo la lente del teorema de límite central.

Describir y modelar el flujo (y atasco) de tráfico (animal, humano, vehicular) vía dinámica no lineal aprovechando nuestro descubrimiento de manifestación de la dinámica vítrea en la vecindad del borde del caos vía la brecha de bifurcaciones inducida por ruido.

Explicar el fundamento físico de escalamiento y ubicuidad del 'ruido $1/f$ ' mediante el estudio de las trayectorias de mapeos con retroalimentación en la ruta al caos vía intermitencia. Emplear los resultados para construir modelos de crecimiento alométrico, urbanización, entre otros.

Finalmente se deben construir métodos y modelos para la predicción de alertas tempranas vía el empleo de nuestros estudios sobre la estructura espacial y evolución temporal de las fluctuaciones dominantes en un punto crítico obtenidos en términos de la mecánica estadística y la dinámica de mapeos no lineales.

Dentro de los estudios con impacto social se propone el estudio de la movilidad en ciudades desde la perspectiva de los sistemas complejos. Este es un tema que se está iniciando en el IF. A futuro se busca tener un impacto a nivel de la Ciudad de México suministrando información que sea de utilidad para mejorar la movilidad en diferentes tipos de transporte. También se busca aportar con resultados aplicables a muchas ciudades del mundo. A nivel internacional, se busca trabajar en colaboración con diferentes grupos de investigación interesados en movilidad humana en ciudades, así como en el desarrollo de métodos matemáticos aplicables al estudio de zonas urbanas.

Área 2: Nuevos Materiales

Otra área de investigación que desarrollan los investigadores del Departamento de Sistemas Complejos es el de estudios teóricos de nuevos materiales, en particular se estudian las propiedades fisicoquímicas de nanocúmulos, nanopartículas y nanomateriales, así como materiales desordenados y de baja dimensionalidad.

Perspectiva

Esta área tiene una proyección importante en el contexto internacional. Por un lado, el estudio de las propiedades fisicoquímicas de nanomateriales es un tema de investigación muy activo a nivel internacional. Por otro lado, la investigación en materiales 2D se ha colocado en los últimos años dentro de los temas de frontera. En el IF, las líneas mencionadas tendrán una proyección importante para los próximos años, sin embargo, para lograr una mayor relevancia e impacto a nivel internacional es imperativo trabajar en paralelo con investigadores que desarrollen líneas de trabajo experimental en los temas de síntesis controlada y caracterización de ambos nanomateriales.

Área 3: Fundamentos de Mecánica Cuántica

En el área de Mecánica Cuántica, investigadores del Departamento de Sistemas Complejos, estudian la formulación no hermitiana de estados resonantes en mecánica cuántica y de la evolución temporal en sistemas cuánticos abiertos, así como la evolución temporal de sistemas cuánticos aislados.

Perspectiva

En esta área se planea completar en corto plazo los aspectos fundamentales del formalismo no hermitiano. A más largo plazo se plantea ampliar el formalismo en el contexto general de sistemas disipativos y efectos de memoria.

Otras líneas de Investigación que se cultivan en el Departamento de Sistemas Complejos, son las siguientes: Evolución de proteínas; Física no-lineal aplicada a la física estadística; Sociofísica y econofísica; Formación de patrones en nubes; Contaminación: enfoque de inteligencia artificial; Formación de huracanes: enfoque de inteligencia artificial y estadístico; Aplicaciones de teoría de la rigidez a tejidos cancerígenos.

Laboratorios en Sistemas Complejos

- 1) Laboratorio de Sistemas Complejos.



2019 ▶ 2023