

Centro de Nanociencias y Nanotecnología-UNAM

Irene Barberena Rojas,* Oscar Edel Contreras López** y Leonardo Morales de la Garza***

RESUMEN: En este artículo se describe el origen del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM y se especifica las actividades que lleva a cabo en el área de las nanociencias y la nanotecnología (NyN) y la importancia que tiene en el entorno local y nacional la investigación e innovación tecnológica en este campo del conocimiento así como la importancia de preparar recursos humanos en las NyN.

PALABRAS CLAVE: Nanociencias, nanotecnología, licenciatura, posgrado.

ABSTRACT: This article describes the origin of the Center for Nanoscience and Nanotechnology, UNAM and describes the activities carried out in the area of nanoscience and nanotechnology (N&N) and the importance of performing research and technological innovation in this area at local and national level, it specifies as well the importance of developing human resources in N&N.

KEYWORDS: Nanoscience, nanotechnology, degree, postgraduate studies.

El origen del Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN) se remonta a la creación del Laboratorio de Ensenada del Instituto de Física (LEIF), cuyo proyecto fue presentado al rector, Dr. Guillermo Soberón Acevedo, el 9 de noviembre de 1979. Las actividades académicas iniciaron en la ciudad de Ensenada el 20 de agosto de 1981, cuando se adquirió el primer microscopio Auger de barrido, un equipo único en el país en ese tiempo, el cual fue instalado en el edificio que tenía el Instituto de Astronomía en Ensenada, mientras se construía el edificio del LEIF, inaugurado el 17 de noviembre de 1983 por el rector Octavio Rivero Serrano.

El 2 de diciembre de 1997, después de más de una década de trabajo en el LEIF y su dinámico crecimiento en infraestructura y personal tanto académico como administrativo, se creó el Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC), por acuerdo del Consejo Universitario, con el objetivo de realizar investigación científica de excelencia, en el marco teórico y experimental, y orientado al campo de las ciencias de la materia condensada. Más de una década después, surgió el cambio de denominación del

Recibido: 7 de mayo de 2016. Aceptado: 29 de mayo de 2016.

* Técnico Académico, responsable institucional de la gestión de la calidad y certificación. Correspondencia: (irenebr@cyn.unam.mx).

** Director, Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Correspondencia: (direccion@cyn.unam.mx).

*** Investigador Titular, jefe del Departamento de Nanoestructuras, autor responsable del artículo. Correspondencia: (leonardo@cyn.unam.mx).

FIGURA 1. Vista general de los edificios del Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

CCMC al actual Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN), a partir del 28 de marzo de 2008, con el objetivo general de realizar investigación científica y desarrollar tecnología en temas de frontera, en el campo de los nanomateriales.

Desde los orígenes de su creación, la comunidad académica del CNyN ha enfocado su esfuerzo en el estudio de la materia a nivel atómico, evolucionando hacia la modificación de la misma logrando crecer una gran diversidad de nanoestructuras con diferentes morfologías. Algunos resultados de esta evolución han impactado en el diseño teórico de dispositivos electrónicos con potenciales aplicaciones en computación cuántica o espintrónica, catalizadores nanoestructurados de aleaciones metálicas para el tratamiento de hidrocarburos, varillas semiconductoras para la fabricación de sensores de gases, soportes catalizadores a base de nanotubos de carbono, hasta las nanopartículas metálicas como es el caso de las nanopartículas de plata para la prevención y tratamiento de infecciones.

En 2015 el CNyN reporta una excepcional experiencia académica con un aumento de resultados científicos, formación de recursos humanos, gestión de recursos, divulgación, organización de eventos y vinculación con el sector empresarial regional.

La nanotecnología es un campo multidisciplinario y emergente en el cual se conjuntan la física, la biología, la química, la ingeniería y las ciencias sociales. Su objetivo es entender, caracterizar, manipular y explotar las características físicas de la materia a la nanoescala, para generar innovaciones tecnológicas teniendo en consideración su impacto social y ambiental. Se trata de una tecnología clave que constituye una de las áreas que aportará mayor desarrollo al siglo XXI al originar aplicaciones basadas en los fenómenos que suceden a escalas atómicas (1 nanómetro es 1 millonésimo de milímetro).

Se habla de que la nanotecnología será el detonante de una nueva revolución industrial pues las posibilidades de creación y aplicación de nuevos materiales y dispositivos a partir de átomos y moléculas parecen ilimitadas.

Por ejemplo, en la actualidad existen aplicaciones en industrias tradicionales como son los catalizadores, recubrimientos, pinturas, industria del hule, entre otras, y se comienzan aplicaciones novedosas como son la fabricación de materiales inteligentes como los biosensores, la manufactura de microprocesadores, el diseño de materiales con características específicas y en nuevos materiales para la industria aeroespacial.

Las nuevas tecnologías serán aplicables en la construcción de computadoras cada vez más rápidas y pequeñas, mientras que desarrollos de nanolitografía, películas delgadas autoensambladas y electrónica molecular podrán utilizarse en el desarrollo de dispositivos electrónicos. Esta disciplina también tendrá un gran rango de aplicaciones energéticas y ambientales, como son el desarrollo de catalizadores para motores de autos y nanotubos para almacenamiento de hidrógeno. También se podrán construir materiales más ligeros, fuertes, durables o transparentes, como serían las superficies autolimpiables. Podrán desarrollarse implantes y prótesis que sean similares a tejidos naturales y herramientas biomédicas para manipular las moléculas de ADN. Otras aplicaciones serán el desarrollo de nuevos tratamientos médicos y medicamentos, la administración gradual y localizada de fármacos, en la industria alimenticia e inclusive en la industria cosmética.

Investigación, desarrollo e innovación en el CNyN

Las actividades en el CNyN se llevan a cabo en diferentes departamentos, como son los de Bionanotecnología, Física, Fisicoquímica de Nanomateriales, Materiales Avanzados, Nanocatálisis, y Nanoestructuras, y los laboratorios especializados de apoyo a la investigación.

La investigación realizada es multidisciplinaria dada la interacción entre las ciencias físicas, químicas y biológicas, a través de diversas líneas de investigación de los departamentos del Centro.

En nanomateriales se llevan a cabo las siguientes líneas de investigación:

Síntesis de nanomateriales: nanotubos de carbono, sulfuros y óxidos metálicos con propiedades electrocatalíticas; la determinación de la nanoestructura cristalina y electrónica de superficies sólidas y materiales nanoestructurados empleando técnicas experimentales como la difracción de electrones de baja energía (LEED), la microscopía de barrido por efecto túnel (STM) y métodos teóricos como la teoría de la funcional de densidad (DFT) con cálculos de primeros principios de la estructura electrónica de materiales, con enfoque a la teoría (DFT) para calcular las propiedades electrónicas y estructurales de los materiales.

En el área de Física, se estudian las propiedades de transporte de carga y espín en arreglos de puntos cuánticos, nanotubos de carbono y grafeno. En particular, el control cuántico de estos sistemas a través del estudio de los

efectos de interacciones (espín-órbita, hiperfina) en los tiempos de decoherencia, así como propiedades de entrelazamiento para aplicaciones en computación cuántica. Asimismo se estudian las propiedades ópticas (espectros de emisión y absorción) de estos sistemas para explorar sus posibilidades como emisores y detectores de radiación de altas frecuencias, así como la interacción entre plasmones de superficie en nanopartículas metálicas y radiación electromagnética.

Se trabaja en el transporte de carga y espín en nanoestructuras para el control y manipulación de cargas y espines en arreglos de puntos cuánticos en diferentes geometrías.

Son de gran interés los efectos de interacciones en sistemas de doble y triple punto cuántico, transporte de carga y espín en nanorresonadores, entrelazamiento y disipación, efecto Hall de espín, magnetoconductancia en nanoconstricciones, oscilaciones de Bloch en nanotubos de carbono, espintrónica en puntos cuánticos de grafeno.

Las propiedades ópticas de nanoestructuras mediante la interacción entre campos electromagnéticos y sistemas inhomogéneos en escalas nanométricas: superficies, nanopartículas y nanosondas.

La interacción electrón-electrón y efectos de acoplamiento espín-órbita en superficies y nanopartículas, respuesta óptica no lineal en nanopartículas, generación de segundo armónico en arreglos de puntos cuánticos, y la plasmónica.

Las propiedades de nitruros y carburos de metales de transición, propiedades estructurales y electrónicas de materiales superconductores.

El estudio experimental y teórico de las propiedades físicas y químicas de películas delgadas, nanopartículas, cúmulos, superficies e interfaces, y sus aplicaciones.

Se trabaja en las propiedades mecánicas, químicas y físicas de películas delgadas, con el fin de encontrar nuevos materiales y formas de aplicar algunos ya existentes, para mejorar el rendimiento de máquinas y herramientas mediante el empleo de recubrimientos protectores. Estos conocimientos tienen alta incidencia en los costos de producción de bienes e insumos, ya que contribuyen a su mejoramiento.

Se pretende llegar a abarcar aspectos prácticos e ingenieriles. Por ejemplo, recubrir objetos de superficies de geometría caprichosa, para los cuales, al momento, no hay una solución técnica única. También es importante encontrar los materiales que presenten una buena adherencia en aceros y cerámicas, o bien, idear capas amortiguadoras que permitan obtener la adecuada adherencia por la liberación, o absorción, de los esfuerzos interfaciales intrínsecos y los generados por las diferencias de coeficientes de expansión. Estos materiales pueden ser producidos utilizando la técnica de ablación láser reactiva o de erosión iónica reactiva y pudiendo ser analizados en *in-situ*, mediante las técnicas de XPS, AES y REELS.

La producción de nanopartículas magnéticas mediante la técnica de

ablación láser para estudiar la correlación entre su tamaño y comportamiento magnético.

Se hace investigación en las propiedades estructurales y electrónicas de materiales superconductores, semiconductores de ancho de banda grande y catalizadores, usando paquetes de programación (CRYSTAL98, WIEN2K) basados en diferentes métodos de teoría de muchos cuerpos (FLAPW, DFT, LSDA, GGA). Los temas de interés son las propiedades de nitruros y carburos de metales de transición, propiedades estructurales y electrónicas de elementos superconductores y catalizadores.

Se estudian las propiedades ópticas de películas delgadas mediante espectroscopías electrónicas con la finalidad de obtener conocimiento general del comportamiento de las funciones dieléctricas de nitruros de metales de transición. Estos materiales tienen una variedad de aplicaciones tecnológicas, como dureza extrema; altos puntos de fusión; interesantes propiedades ópticas y magnéticas, así como una importante actividad catalítica. En cuanto a las propiedades eléctricas, algunos son superconductores, otros pueden ser semiconductores o dieléctricos, mientras que la mayoría conserva vestigios del comportamiento metálico. Esta gama de propiedades se genera por la riqueza de composiciones, configuraciones electrónicas y estructuras que exhiben estos materiales. La función dieléctrica se obtiene a partir de espectros de pérdidas de energía electrónica teniendo en cuenta efectos de superficie y geometría del instrumento.

Se producen partículas de oro y plata en forma de cúmulos y nanopartículas para posteriormente analizarlas, física y químicamente, conocer su tamaño, distribución y propiedades catalíticas para ser utilizadas en medicinas, en procesos de purificación del agua, convertidores catalíticos a bajas temperaturas, entre otras.

Se desarrollan nuevos materiales luminiscentes mediante métodos químicos, además se diseñan y se construyen nuevos sistemas para la fabricación de los materiales. La aplicación principal de los materiales luminiscentes es en pantallas de televisión y lámparas de estado sólido de luz blanca para iluminación artificial. Otra importante línea es la de películas delgadas que incluye recubrimientos transparentes con alta conductividad eléctrica (electrodos transparentes) y películas delgadas luminiscentes (fotoluminiscentes, catodoluminiscentes y electroluminiscentes). Se diseñan y se construyen los sistemas de depósito y hasta la fecha se han fabricado 4 sistemas completos que incluyen métodos físicos (erosión iónica y ablación láser) y métodos químicos (MOCVD y ECR).

Se fabrican nanoalambres con longitud específica y puntos de ramificación en fragmentos de ADN lineales como promotores que forman ensamblajes periódicos mediante el uso de la técnica de litografía molecular como técnica de amplificación.

Se estudian materiales con propiedades piezoeléctricas, ferroeléctricas y multiferroicas, elaborados tanto en forma cerámica como de películas

delgadas y nanoestructuras, con posibles aplicaciones tecnológicas en sensores, transductores, memorias computacionales y generadores de energía, principalmente.

Se sintetizan y desarrollan análisis ópticos de materiales en forma de películas delgadas depositadas por métodos auxiliados por plasma. El control de crecimiento de capas delgadas por medio de espectroscopia óptica *in-situ*.

Se lleva a cabo investigación teórico-experimental sobre los efectos ópticos superficiales a la nanoescala así como en el área de la fotónica.

Se sintetizan y caracterizan nanomateriales a base de metales de transición, que desempeñen la función de electrocatalizadores para la producción de hidrógeno a partir de agua.

Se estudian los precursores, mecanismos de crecimiento, estructura y morfología de películas, para la síntesis de materiales a base de calcogenuros de metales de transición para su uso en la construcción de semiconductores tipo n y p.

Se construyen y estudian transistores de películas delgadas (TFTs) de calcogenuros de metales de transición.

Se estudia la preparación de recubrimientos híbridos de SiO₂-PMMA-nanopartículas de calcogenuros de metales de transición.

Se desarrollan sistemas basados en dendrímeros, nanogeles y nanopartículas poliméricas para transporte y liberación de fármacos.

En el área de Bionanotecnología se desarrolla investigación en la combinación de las propiedades de los sistemas biológicos y de los materiales a escala nanométrica para convertir y transportar la energía, sintetizar compuestos orgánicos específicos, sintetizar macromoléculas, almacenar información, reconocer, detectar, señalar, mover, autoensamblar y reproducir sistemas biológicos. Generar conocimiento en nanocatálisis, nanomedicina, biomateriales nanoestructurados y fábricas celulares.

Los proyectos específicos están relacionados con: el estudio de las propiedades biocatalíticas de las enzimas inmovilizadas en materiales nanoestructurados; el uso de cápsidas virales y cajas proteicas como vectores para el envío de enzimas, genes, nanopartículas y fármacos; nanoestructuras de secreción tipo tres bacterianas y su potencial uso para la entrega de proteínas de interés terapéutico a células eucariotas; nanotoxicidad, estudio de la toxicidad de nanomateriales sobre organismos y ecosistemas; simulaciones moleculares de proteínas y moléculas orgánicas; diseño molecular de celdas de combustible enzimáticas; biotecnología petrolera, y el diseño de procesos novedosos en biocatálisis y biotecnología, entre otros.

El área de Nanocatálisis se enfoca en el desarrollo de nuevo catalizadores heterogéneos para química fina y para la protección del medio ambiente, basados en oro y paladio soportados en materiales nanoestructurados y partiendo de materiales biorrenovables; en la investigación de la cinética y de los mecanismos de catálisis heterogénea con aplicación de técnica experimentales avanzadas como *in-situ* y Operando; en el desarrollo de catalizadores

para la reacción de desplazamiento de vapor de agua a baja temperatura; en el diseño de nuevos catalizadores bimetalicos basados en oro y paladio, soportados en óxidos mixtos nanoestructurados y su aplicación en las reacciones de interés (esterificación oxidativa de alcohol bencílico, animación del mirtenolo, descomposición de ácido fórmico etc.).

En Catálisis Ambiental, el estudio de materiales basados en hidroxipatita/wollastonita con propiedades biomédicas; el estudio de nanomateriales relacionados con calcogenuros de metales de transición y metales de transición; nanopartículas de metales soportados en matrices nanoestructuradas para el desarrollo de materiales nanocatalíticos.

Se colabora en un proyecto de investigación vinculado con la industria, dedicado al desarrollo de catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra bajo azufre con el enfoque a desarrollar la metodología de incorporación de nanozeolitas a la alúmina industrial por el método de peptización, utilizando varios agentes peptizantes.

Hidrodesulfuración de diésel y gasolinas.

Producción de hidrógeno y síntesis de FT.

El estudio de sulfuros y fosfuros de metales de transición.

Síntesis y caracterización de nanomateriales a base de metales de transición que desempeñen la función de electrocatalizadores para la producción de hidrógeno a partir de agua.

La investigación de la cinética y de los mecanismos cinéticos de catálisis heterogénea con aplicación de técnicas experimentales avanzadas como *in-situ* y Operando. El desarrollo de catalizadores para la reacción de desplazamiento de vapor de agua a baja temperatura.

El diseño de nuevos catalizadores bimetalicos basados en oro y paladio soportados en óxidos mixtos nanoestructurados y su aplicación en las reacciones de interés (esterificación oxidativa de alcohol bencílico, animación del mirtenolo, descomposición de ácido fórmico, etc.).

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En este rubro, en el CNyN se ha obtenido la patente “Método de obtención de un material compuesto de aluminosilicato que contiene alúmina y nanozeolita” MX/a/2014/001908 con fecha 18 de febrero de 2014 y el responsable de la misma es el Dr. Sergio Fuentes Moyado, Investigador Titular “C” y también titular de la patente en seguimiento, PCT/MX2013/000140: “Catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra-bajo azufre”.

Formación de recursos humanos

La formación de recursos humanos se desarrolla a través de una licenciatura en nanotecnología y tres programas de posgrado:

FIGURA 2. Estudiantes de licenciatura y posgrado del CNYN.



Licenciatura en nanotecnología

Inició en el verano de 2011, y ya cuenta con 5 generaciones, 71 alumnos en procesos de formación y 5 alumnos graduados de la primera generación.

La oferta académica del CNYN promueve la formación de profesionales con preparación sólida en este campo emergente que les permita participar en su desarrollo de diferentes formas: contribuyendo a la evolución e implementación de nuevas tecnologías, sirviendo de enlace entre la academia y los demás sectores, como la industria, el gobierno y la sociedad en general, y participando en la elaboración de políticas públicas, por mencionar algunas, como lo describen los alcances de la función docente en los diferentes niveles académicos.

Los principales beneficios de la formación académica en nanotecnología, son adquirir los conocimientos y habilidades en las áreas de ciencias, ingeniería o tecnología para trabajar en empresas del sector privado, de alta o mediana tecnología, o en el sector público; por ejemplo, en los sectores energéticos, de comunicaciones, de salud, gestión ambiental, etc.; para aplicar técnicas de preparación, síntesis, caracterización, diseño y aplicación de materiales, con énfasis en la nanoescala, entrenamiento para analizar y resolver problemas, con conocimientos científicos; especialización en biotecnología, tecnología ambiental y nanoestructuras; habilidades de análisis y diseño, independencia de pensamiento y creatividad, rigurosidad deductiva, y participación en grupos interdisciplinarios que desarrollan labores de difusión científica.

La información completa para conocer la propuesta y alcances de la licenciatura en nanotecnología, cuya coordinación está a cargo de la Dra. Laura Viana Castrillón, está disponible en: <<http://www.nanolic.unam.mx/sitio/>>.

Los posgrados para la formación de recursos humanos de alto nivel

Posgrado en Ciencias Físicas (UNAM)

Responde a la necesidad de fortalecer y ampliar la planta de investigadores y técnicos en el país con conocimientos sólidos en física contemporánea, y habilidades para el manejo y aplicación de técnicas y metodologías científicas en áreas específicas de interés en el ejercicio profesional, como investigación y docente, y realizar investigación original en áreas de interés actual para identificar, plantear y resolver problemas de investigación en la frontera del conocimiento.

La información sobre el posgrado en Ciencias Físicas, cuyo representante académico en el CNYN es el Dr. Ernesto Cota Araiza, se encuentra disponible en: <<http://www.posgrado.fisica.unam.mx/beta/drupal/>>.

Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales (UNAM)

Enfocado en la adquisición de conocimientos generales y con experiencia en investigación, que les confieran versatilidad y preparación suficientes para incorporarse a labores de investigación y desarrollo en los sectores educativos, productivos y de servicios, así como para realizar labores de docencia especializada y contribuciones originales en ciencia e ingeniería de materiales, formar grupos de investigación y de recursos humanos. Generar experiencia suficiente en el manejo de metodologías propias de la investigación de materiales y estar capacitado para resolver problemas del área de conocimiento, que pudieran presentarse en los sectores descritos. Desarrollar profesionalmente trabajos de investigación científica original y de frontera y organizar proyectos tanto en centros universitarios como de investigación públicos o privados, e identificar y plantear problemas de investigación significativos en el campo de conocimiento y aportar soluciones, por mencionar algunos.

Para mayor información puede consultar: <<http://www.iim.unam.mx/posgrado/>>.

Posgrado en Nanociencias (CNYN – CICESE)

Originalmente posgrado de Física de Materiales. Es el más antiguo dentro de los programas del CNYN. Se fundó a través de un convenio de colaboración

entre la UNAM y el Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) en 1986, durante el periodo del rector Jorge Carpizo. Al igual que los otros dos de la UNAM, pertenece al Padrón Nacional de Posgrado Consolidado del CONACyT.

Orientado a la investigación teórica y experimental de la estructura y propiedades fisicoquímicas de la materia como son los estudios de procesos, síntesis, caracterización, simulación, diseño, de materiales avanzados de importancia tecnológica, como son los semiconductores, superconductores, ferroeléctricos y los catalizadores ambientales, por mencionar algunos.

Como parte de la formación académica, en todos los niveles académicos de formación de recursos humanos, el CNyN promueve la movilidad de estudiantes al interior de la república y el exterior para hacer estancias, participar en simposios y cursos, e impartir seminarios tanto en el país como en el extranjero.

La información acerca del posgrado, cuyo representante en el CNyN es el Dr. Leonel Cota Araiza, está disponible en: <<http://www.cnyunam.mx/posgrado/fm1/index.php>>.

Infraestructura

El CNyN cuenta con infraestructura de vanguardia para llevar a cabo sus funciones de investigación, docencia y difusión de las nanociencias.

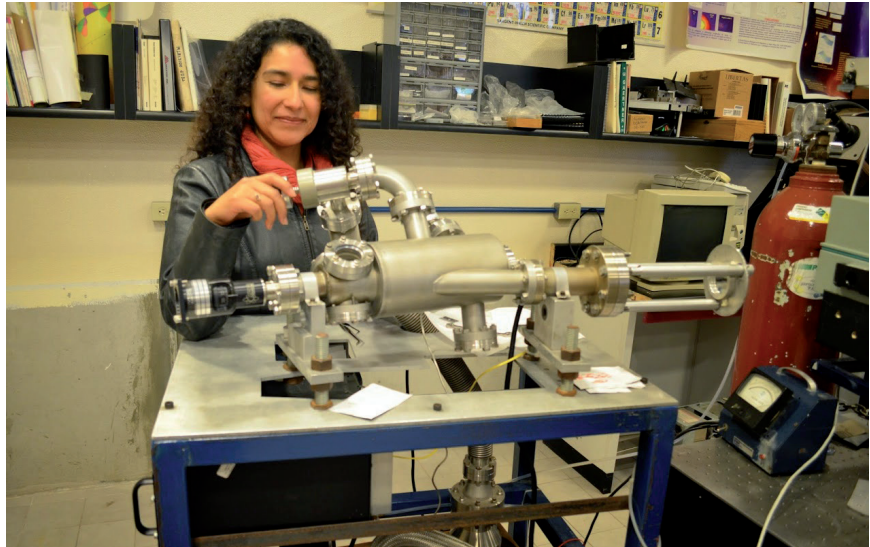
En los Laboratorios de Bionanotecnología se cuenta con el siguiente equipo:



FIGURA 3. Laboratorio de Bionanotecnología.

- Ultracentrífuga preparativa con 4 rotores.
- Espectrógrafo.
- Espectrofotómetro de fluorescencia.
- Detector evaporativo de dispersión de luz, incluye software y accesorios.
- Centrífuga de mesa refrigerada.
- Termociclador Piko real de 96 pozos.
- Incubadora de CO₂ y ultra congelador vertical.
- Liofilizadora Freezone Plus de 2.5 litros cascada a 115v. Modelo 767002.
- Incubadora SHKR MAXQ 6000 refrigerada con agitador.
- Fuente de iluminación, mesa óptica y juego de 4 patas antivibratorias.
- Microscopio estereoscópico.
- Fotodocumentador Smartview Pro 1100 con conexión para PC.

FIGURA 4. Laboratorio de Depósito de Películas Delgadas.



- Gabinete de seguridad biológica clase II tipo A2.
- Lector de placas Multiskan go UV/Vis.
- Balanza analítica.
- Sistema de cromatografía de proteínas AKTA PRIME PLUS.
- Thermostat Plus básico intercambiable y accesorios diversos.
- Espectrofotómetro Nanodrop ND 2000C.
- pH metro marca JENWAY.

Instrumentación para la preparación de materiales

- Cámaras de crecimiento por erosión iónica (3).
- CVD filamento caliente.
- Sistema spray pirolisis.
- Atomic Layer Deposition custom-made.
- Sistema CVD proyección de plasma.
- Sistemas de erosión iónica para el depósito de películas, con cámara de alto vacío y cañones de 2" (2).
- Sistema de depósito por láser pulsado (PLD) para la elaboración de películas. El láser es de Nd-YAg de alta energía (3 Joule) Continuum Presicion II, y se cuenta con 3 cámaras de alto vacío, una de ellas acoplada a un sistema de erosión iónica.
- Purificador de agua de alta pureza.
- Refrigerador y congelador para conservación de muestras biológicas e inorgánicas.

FIGURA 5. Laboratorio de XPS para el análisis químico de materiales.



- Hornos de alta temperatura, molino de bolas, microbalanza, morteros, prensa y troqueles para la elaboración de cerámicas y blancos.
- Centrifugas (2).
- Reactor de flujo continuo para la fabricación de nanoestructuras (1).
- Micromezclador de fluidos (1).

Instrumentación para la caracterización de materiales

- Sistema XPS PHI 548 y sistema Riber LDM-32.
- XPS SPECS, de alta resolución (1).
- Espectrómetro Infrarrojo Bruker, Modelo Tensor 27, (1).
- Sistema de medición efecto Hall y transporte Nliq a temperatura ambiente Ecopia HMS-5000 (1).
- Sistema AFM-nanoindentador consistente en los equipos Multimode Mode AFM.
- NanoScope III y TriboScope.
- Sistema FTIR Matheson.
- Sistema para microscopía de campo-oscuro consistente en mesa óptica, lámpara Vis-IR.
- Microscopio Nikon.
- Espectrofotómetro y equipo periférico.

Equipo de espectroscopía de plasmas para la caracterización *in-situ* de los procesos de depósito de películas

Caracterización óptica

- Espectro-elipsómetro para trabajar *in-situ* y otro para *ex-situ*.
- Reflectómetro.
- Espectrofotómetro UV-Vis.

Caracterización eléctrica, dieléctrica y ferroeléctrica

- Sistema RT66A de Radiant Technologies (medida de ciclo de histéresis, corrientes de fuga, fatiga y envejecimiento).
- Puente LCR para medidas dieléctricas y piezoeléctricas así como adquisición de diagramas de Cole-Cole; y sistema elaborado “en casa” para la obtención de curvas de permitividad *vs.* temperatura y frecuencia que usa un puente LCR 4284A de Hewlett Packard.
- Sistema automatizado analizador de impedancias Solartron acoplado a un criostato. Análisis dieléctrico desde 1mHz hasta 30 Mhz y desde 80 K hasta 500 K.
- Electrómetro 6517^a para medidas de DC, piroelectricidad, corrientes de fuga, resistividad o conductividad empleando 4 puntas.
- Estación de micromanipuladores CPX-VF de LakeShore, dos brazos con criostato y bobina semiconductor (4 K hasta 400 K, 0 a 2.5 Teslas, LHe y LN) para la caracterización de películas delgadas.
- Sistema de refrigeración criogénico de ciclo cerrado de He acoplado con un sistema automatizado de control de campo magnético Lake Shore Cryotronics para la caracterización magnetoeléctrica.
- Espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier Thermo Nicolet 3400.
- Espectrómetro de UV-Vis de fibra óptica con accesorios para las mediciones a temperaturas elevadas.

Reactor catalítico para las mediciones avanzadas en la reacción de reducción de NO_x

- Bombas para líquidos de flujo continuo (3).
- Espectrómetro de masas (1).
- Reactor catalítico para las mediciones avanzadas (1).
- Espectrómetro de UV-Vis de fibra óptica con accesorios para las mediciones a temperaturas elevadas y en fase líquida con temperatura y agitación controlados (1).
- Analizador de gases (NO y NO₂) (1).
- Equipo ultrasónico de alta poder (1).

- Reactor continuo fase gas de flujo dinámico. Para reacciones de HDS, HDO e HYD selectiva.
- Reactor continuo para la Fischer-Tropsch, reformación de metano, propano y alcoholes, reacción de desplazamiento de vapor de agua.
- Sistema de FTIR con línea de alto vacío para la adsorción de moléculas prueba como CO, NO, amoníaco y piridina, así como celda de reacción para análisis *in-situ*.
- Cámara LEED-AES-STM de ultra alto vacío
- STM para operar en ambientes electroquímicos o EC-STM (Electrochemical STM), equipado con un bipotenciostato y miniceldas electroquímicas.

La Unidad de NanoCaracterización cuenta con varios equipos científicos especializados para la caracterización de materiales

- Microscopio electrónico de transmisión JEOL JEM-2010 (TEM) con filamento de LaB₆ y adquisición de imágenes digitales.
- Microscopio electrónico de transmisión de barrido JEOL JEM-2100F (STEM) con cañón de electrones tipo emisión de campo-Schottky, modo barrido, adquisición digital de imágenes, análisis químico por medio de espectroscopía de dispersión de energía (EDS), mapas y espectroscopía de pérdida de energía de electrones (EELS).
- Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5300 (SEM) con detector para hacer análisis químico por medio de dispersión de energía (EDS), adquisición digital de imágenes.

FIGURA 6. Microscopio electrónico de transmisión JEOL JEM-2100F (STEM).

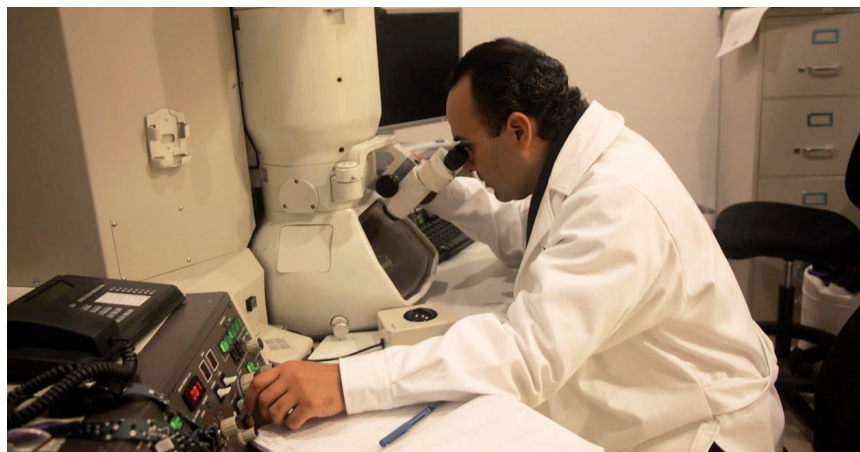


FIGURA 7. Laboratorio de Rayos-X.



- Sistema integral de microscopía electrónica (SEM) y haz de iones enfocados (FIB) JEOL JIB-4500 (SEM+FIB), con sistemas de depósito de capas metálicas, nanomanipulador, espectroscopía de catodoluminiscencia y de dispersión de energía (EDS).
- Microscopio de fuerza atómica Park System modelo XE-BIO (AFM), con capacidad de análisis de la topografía de muestras biológicas.
- Microscopio de fuerza atómica Park System modelo XE-70 (AFM), con capacidad de análisis de la topografía para una gran gama de superficies en el campo ciencia de materiales. Adicionalmente, este microscopio cuenta con el accesorio para realizar microscopía de piezo-fuerza (PFM).
- Difractómetro de rayos X Philips X'pert MPD (XRD), para mediciones de difracción en polvos y haz rasante de películas delgadas, cuenta con un accesorio para hacer mediciones a temperatura variable, 90-600°K.
- Difractómetro de rayos X Panalytical X'pert Pro MRD (XRD), con cuna tipo euleriana para mediciones de difracción en películas delgadas.

Colaboraciones

El CNyN mantiene una amplia colaboración con instituciones locales, nacionales e internacionales así como otros centros e institutos de la UNAM.

Instituciones locales

- Universidad Autónoma de Baja California en sus tres principales campus: Mexicali, Tijuana y Ensenada.
- Instituto Tecnológico de Tijuana.
- Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).
- CETYS, Tijuana.

Instituciones nacionales

- La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Universidad de Sonora.
- Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Instituto Mexicano del Petróleo, Cd. de México.
- Universidad Michoacana.
- Universidad Autónoma Metropolitana.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua.
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Querétaro.
- Centro de Investigación y Química Aplicada. (CIQA).
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Chihuahua.
- CICATA –IPN.
- Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- Instituto Tecnológico de los Mochis, Sonora.
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Instituciones internacionales

- Universidad de Ohio, Ohio, EUA.
- Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.
- Universidad de Cambridge, Inglaterra.
- Universidad Goethe de Frankfurt, Alemania.
- Universidad de Texas, Dallas, EUA.
- San Diego State University, San Diego, California, EUA.
- Borskov Instituto de Catálisis, Rusia.
- Laboratory of Industrial Catalysis, Finlandia.
- Universidad de Bella Horizonte, Brasil.
- Limerick University, Material Science Institute, Irlanda
- CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, India.
- ICP-CSIC, Madrid, España.
- Universidad de Bilbao, España.
- Universidad de Málaga, España.
- Universidad de Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil.

- Universida de Estadual de Maringá (UEM), Brasil.
- Universidad de Barcelona, España.
- Universidad Santiago de Compostela, España.
- Universidad de California-San Diego (UCSD), EUA.
- Technion-Israel Institute of Technology, Israel.
- Universidad Complutense de Madrid, España.
- Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- ICMM-CSIC, Madrid, España.
- Université de Lorraine, Nancy, France.
- Universidad de Siena, Italia.
- Universidad de Concepción, Chile.
- Universidad de California, Los Ángeles, EUA.
- University of Twente, Holanda.

Centros e institutos de la UNAM

- CFATA.
- Instituto de Física.
- Instituto de Ciencias Nucleares.
- Instituto de Biotecnología (IBT).
- Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Instituto de Investigación en Materiales.

Laboratorio Nacional de Micro y Nanofabricación (nanoFAB)

El Laboratorio Nacional de Nanofabricación (nanoFAB) se aprobó como Laboratorio Nacional del CONACYT dentro de las instalaciones del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, en Ensenada Baja California. Se creó en respuesta a la necesidad de contar con un Laboratorio para la investigación y desarrollo en el área de micro y nanofabricación de dispositivos con diversas aplicaciones en la ciencia, electrónica, medicina, biología, óptica, industria automotriz, industria del petróleo, entre otros, y de posicionar a México como el país líder a nivel latinoamericano en dichos procesos. Es un espacio de ambiente controlado equipado con tecnología de última generación para el desarrollo y fabricación de micro y nanodispositivos en la escala micro y nanométrica, provisto de un cuarto limpio clase 1000 en un área total de 274 m² y un área efectiva de 112.5 m². Cuenta con mobiliario y equipos de procesos de litografía para los procesos descritos.

Los objetivos del NanoFAB son:

- Incrementar la participación de investigadores mexicanos en proyectos de investigación, nacionales e internacionales, relacionados con sus procesos, integrar grupos consolidados de científicos en materiales, ingeniería, física y química y biotecnología con expertos en las áreas de nanofabricación.

- Capacitar a estudiantes en los procesos de micro y nanofabricación de dispositivos de próxima generación en ambientes controlados similares a los utilizados en la industria de semiconductores.
- Fortalecer la vinculación de la academia con la industria nacional e internacional en proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación.
- Desarrollar un ecosistema de incubación de empresas (*start-up*) que permita desarrollar prototipos a partir de investigación básica fundamental desarrollada en nanoFAB.

Perspectivas del CNYN

La misión del Centro de orientar la proyección multidisciplinaria se va proyectando con éxito hacia su visión en la investigación científica básica de alto nivel, y potencialmente tecnológica, para la generación del conocimiento de excelencia. El CNYN ha participado a nivel nacional e internacional en la creación de redes temáticas emergentes de investigación, en donde convergen los sectores académico, empresarial, gubernamental y social, cuyo beneficio se traduce en la comunicación, discusión, intercambio y difusión de conocimiento para la resolución de problemas específicos o necesidades irrenunciables, aunado al acceso de infraestructura y equipamiento de frontera, que facilita la gestión de recursos de diversa índole. Este sistema se ha ido fortaleciendo y mejorado los existentes.

En los últimos años el CNYN ha tenido grandes avances con la consolidación de la infraestructura científica con que cuenta para el apoyo a la investigación, y con la creación de la Unidad de Nanocaracterización (UNaC), en donde se concentra gran parte de esta infraestructura científica. La UNaC ya forma parte de los Laboratorios Universitarios de la UNAM y está en proceso su certificación para dar apoyo y servicios más eficientes a la comunidad académica interna y externa al CNYN, a los sectores empresarial de alta tecnología y gubernamental de la zona noroeste del país, y potencialmente a nivel federal. Se están implementando los mecanismos para que la UNaC sea autosustentable, y genere los recursos necesarios para su funcionamiento. Se han tomado acciones mediante la suscripción de convenios de colaboración con instituciones académicas, científicas y empresas en temas de tecnología de frontera, que reflejan el requerimiento de los servicios y asesorías especializados del CNYN.

Aunado al reforzamiento de la infraestructura y la creación de la UNaC, se ha creado el Laboratorio Nacional de Micro y Nanofabricación (nanoFab), en el cual participan la Universidad de Sonora, algunas instituciones académicas y científicas de Baja California, el Gobierno del Estado y empresas locales interesadas en el desarrollo de dispositivos de nanotecnología. Este proyecto nacional será el primero en su tipo en el país, en el cual se espera desarrollar dispositivos a escalas micro y nanométrica de alta tecnología. El

proyecto nanoFab se encuentra en su segunda etapa. Cuenta con el espacio físico para su implementación con condiciones de cuarto limpio grado 1000, e instrumentación para llevar a cabo nanolitografía en obleas de silicio. El Laboratorio nanoFab forma parte de los programas del CONACyT sobre Laboratorios Nacionales.

El CNyN tiene un gran compromiso con la formación de recursos humanos en las áreas de NyN, es por esto que hace seis años se inició el único programa de Licenciatura en Nanotecnología en la UNAM y cuyas características, comparadas con otros programas en el país, son las mejores al contar con más infraestructura a nivel de educación e investigación y con personal especializado en las NyN al alcance de los estudiantes. Estrategia institucional que les permitirá apuntalar las oportunidades multidisciplinarias de inserción en el mercado laboral. Este programa ya está consolidado y la demanda ha ido en aumento.

El CNyN ha iniciado con éxito una plataforma de difusión del conocimiento y divulgación de la cultura mediante la suma de talentos de la comunidad académica y estudiantil. Suceso que ha captado la atención local y federal de la sociedad acerca de las capacidades y potencialidades del CNyN en cada una de las funciones sustantivas institucionales que realiza, a través de eventos académicos como la casa abierta, jóvenes a la investigación, estancias de verano de la ciencia; deportivos entre diferentes instituciones educativas, y culturales como el festival del conocimiento y el acceso a las artes a través de la danza, el canto, el teatro y el cine, por mencionar algunos. Eventos que han abierto las puertas del Centro a nuevas posibilidades de desarrollo, consolidación y mejora.