

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

Ygnacio Martínez Laguna,¹ José Eduardo Espinosa Rosales,² José Ramón Eguibar Cuenca,³ Ana Lilia González Ronquillo,⁴ Martín Rodolfo Palomino Merino,⁵ Heriberto Hernández Cocoltzi,⁶ Javier Martínez Juárez⁷

RESUMEN: Las nanociencias tienen una larga tradición en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y han sido cultivadas en distintas dependencias académicas como el Instituto de Ciencias, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, la Facultad de Ciencias de la Electrónica, el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Ingeniería Química. En estas unidades académicas se diseñan nuevos materiales nanoestructurados, se evalúan sus propiedades ópticas, eléctricas, químicas el efecto de diferentes agentes dopantes sobre dichas propiedades valoradas mediante equipo de vanguardia. Los materiales con base en carbón y silicio ocupan un lugar importante entre las investigaciones que se desarrollan a los cuales se les evalúan distintas propiedades mediante pruebas que determinen sus posibles usos en diferentes campos del conocimiento. De manera importante los investigadores que desarrollan estas líneas de generación y aplicación del conocimiento son miembros tanto del padrón de investigadores BUAP, como del Sistema Nacional de Investigadores y están organizados en cuerpos académicos registrados en el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública.

Es importante destacar que existen varios posgrados ligados a estos grupos de investigación, como son las maestrías y doctorados en ciencias de materiales, de física aplicada o en dispositivos semiconductores, además de las maestrías en ingeniería química y en ciencias de la electrónica. Estos resultados muestran que la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla es una institución con investigación de vanguardia en el campo de los materiales nanoestructurados y sus propiedades; así como sus posibles aplicaciones mediante la obtención de patentes y licenciamientos. Contamos con una infraestructura experimental moderna, pero que requiere incrementarse para estar al máximo nivel posible en Puebla y la región, para detonar la innovación e incentivar aún más nuestras relaciones con los sectores sociales e industrial.

Recibido: 27 de abril de 2016. Aceptado: 5 de septiembre de 2016.

* Agradecemos la valiosa colaboración de los doctores Gregorio Hernández Cocoltzi, Ana Lilia González Ronquillo, Martín Rodolfo Palomino Merino, Umapada Pal, Heriberto Hernández Cocoltzi, Efraín Rubio Rosas, Javier Martínez Juárez, Alfred Zehe y Araceli Ramírez, quienes realizan el trabajo sobre nanotecnología en las distintas unidades académicas de la Institución.

¹ Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado. Correspondencia: (investigacion.viep@correo.buap.mx). Tel. (222) 229-5500 ext. 5737. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Calle 4 Sur # 303, planta alta. Col. Centro. Puebla, Pue. C.P. 72000. México.

² Director General de Divulgación. Correspondencia: (divulgacion.viep@correo.buap.mx).

³ Director General de Investigación.

⁴ Instituto de Física “Luis Rivera Terrazas”.

⁵ Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas.

⁶ Facultad de Ingeniería Química.

⁷ Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores, Instituto de Ciencias.

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, materiales, fotodifracción, nanoestructura, propiedades emergentes.

ABSTRACT: The Benemérita Universidad Autónoma of Puebla is one of the largest public and autonomous universities in México, and it had long tradition in the nanoscience field and the production of different kind of nanomaterials. The research groups involved are organized in a well-established research teams in the so called Cuerpos Académicos recognized by the Secretary of Public Education after a strict evaluation process by academic peers. Most of the nanoscience researchers are recognized by the National Research System.

The main areas that these researchers investigate are new nanomaterials using carbon, silicon as a base material and doping them with different compounds from single atoms such as: indium, tin, titanium, germanium among others; and even using organic materials to obtain materials with new properties such as solar cells or nanomaterials capable to adhere pollutants or using in bioremediation in soil, water and air using different solvents, including petroleum derivatives, diluting them and captured using nanostructures as catalytic converters.

All nanostructured materials are evaluated using photic, electrical and chemical new properties with the state of the art equipment. In these nanomaterials the new properties were evaluated as well as, their possible applications in biomedicine, engineering or chemical processes. Importantly, BUAP had more than 30 years working in this field and nowadays is a referent in nanoscience, nanomaterials and nanostructures in Puebla and the region. The experimental and theoretical work support a strong formation of students in undergraduate, as well as post-graduate studies including master in science and doctorate programs with a recognition by the National Program of Postgraduate's Studies quality by CONACyT-México.

In conclusion, nanoscience is an important research field in the BUAP and it is in expansion adding innovation with multiple new applications in several fields such as biomedicine, materials and electronic devices. Our infrastructure is capable to improve innovation in several industrial fields in Puebla and the south-southeast region.

KEYWORDS: Nanoscience, materials, nanotechnology, carbon, emerging properties.

Introducción

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) cuenta con 161 programas educativos, divididos en distintas Divisiones de Estudios Superiores (DES) como son las de Ciencias Sociales y Económico-Administrativas, Ciencias Exactas, Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias de la Salud, y Educación y Humanidades

El Instituto de Ciencias de la BUAP, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, la Facultad de Ingeniería Química, el Instituto de Física “*Ing. Luis Rivera Terrazas*”, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Ciencias Químicas y la Facultad de Ciencias de la Electrónica realizan investigación básica o aplicada en áreas relacionadas con la nanociencia o la nanotecnología, destacándose la participación de los cuerpos académicos (CA) registrados ante el PRODEP de la Secretaría de Educación Pública en:

- Polímeros.
- Semiconductores nanoestructurados y orgánicos.
- Materiales nanoestructurados avanzados y sus aplicaciones.
- Física de materiales.

- Ingeniería de los procesos químicos y remediación ambiental.
- Operaciones y procesos en alimentos.
- Desarrollo de materiales y procesos químicos.
- Materiales fotoactivos.
- Física aplicada.
- Física de superficies e interfaces/materiales fotovoltaicos.
- Materiales complejos inteligentes y nanoestructurados.
- Materiales avanzados.
- Materiales fotocatalíticos y fotoconductivos.
- Física computacional de la materia condensada.
- Propiedades mecánicas y electrónicas de materiales.

En la BUAP participan 75 investigadores de los distintos cuerpos académicos mencionados, los cuales llevan a cabo investigaciones o desarrollos tecnológicos en áreas relacionadas con las nanociencias o con la nanotecnología.

Investigación en nanotecnología de la BUAP

Los proyectos de investigación relacionados con las nanociencias se han cultivado desde la fundación en el año de 1950 de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas. Para 1972 un grupo de académicos, la mayoría docentes de esta escuela, decide formar un grupo de investigación en el área de Física de bajas temperaturas; y un poco tiempo después, es fundado el Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla (ICUAP) crisol de los grupos de investigación en las diversas áreas del conocimiento.

El ICUAP es la unidad académica más añeja en labores de investigación en el campo; fundada desde 1974, con la finalidad de reorganizar, coordinar y promover de manera sistemática la investigación científica y hacer más eficientes los recursos con los que contaba en aquel momento la universidad. Es importante mencionar que al crearse el ICUAP, se logra aglutinar a muchos investigadores dispersos en distintas escuelas y facultades universitarias permitiendo reunir sus esfuerzos, sistematizar sus investigaciones, lo cual constituyó un parteaguas para la investigación al seno de la universidad.

El ICUAP tiene injerencia directa en actividades relacionadas con las nanociencias, en las siguientes dependencias:

- Departamento de Semiconductores (DS).
- Departamento de Química: Área de Ingeniería Química (DIQ)
- Departamento de Físicoquímica (DFQ)
- Departamento de Físicoquímica de Materiales (DFQM)
- Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores (CIDS)
- Centro de Química (CQ)
- Departamento de Investigación en Zeolitas (DIZ)

En la BUAP las actividades de investigación se han detonado en las últimas décadas al punto de que, en la actualidad, no existe una escuela, facultad o instituto en donde no se registren actividades de investigación, contamos con un padrón institucional de 822 investigadores, de los cuales 542 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores, siendo líderes (niveles 2 y 3), uno de cada cuatro de los miembros del Sistema Nacional de Investigadores.

Líneas de investigación en nanociencias y nanotecnología

Diversas líneas de investigación en estas áreas son desarrolladas por investigadores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a continuación, tenemos una lista de proyectos llevados a cabo en el 2016:

Propiedades físicas de sistemas aperiódicos

Propiedades físicas ópticas, acústicas, de transporte de electrones etc. de sistemas aperiódicos. Respuesta óptica de cristales fotónicos deterministas aperiódicos unidimensionales y localización de radiación electromagnética (Saldaña *et al.*, 2009).

Estudios de primeros principios de las propiedades de superficies y nanoestructuras semiconductoras

Estudios de las propiedades estructurales, electrónicas y ópticas de semiconductores compuestos. Formación de nanoestructuras en superficies semiconductoras y la formación de nanoestructuras de semiconductores. También se exploran monocapas, nanoalambres y nanotubos, y su interacción con moléculas orgánicas (Galicia *et al.*, 2012).

Semiconductores nanoestructurados sobre plantillas de materiales porosos para celdas solares y materiales funcionales

Por electrodeposición se desarrollan: 1) nanoestructuras semiconductoras, basadas en CuInSe_2 , se busca modular su ancho de banda para un mejor aprovechamiento del espectro solar para su aplicación en celdas solares; 2) nanoestructuras como amplificadores ópticos basados en matrices dieléctricas activados mediante dopado con lantánidos (De la Luz-Merino *et al.*, 2015).

Estudio de materiales fotoactivos basados en silicio y sulfuros metálicos, y desarrollo de electrodos para baterías de litio

Fabricación y estudio de micro y nanoestructuras de silicio preparadas por combinaciones de grabado, para ser utilizadas como ánodos de alta capacidad

de baterías de ion litio. Los ánodos obtenidos presentan capacidades más de 10 veces superiores a los ánodos convencionales Quiroga-González *et al.*, 2013).

Síntesis de las nanopartículas de CuSbS₂ y desarrollo de las películas delgadas a partir de su tinta/pasta para aplicaciones en celdas fotovoltaicas

Se aborda el procesamiento de celdas solares del tipo CdS/CuSbS₂ desarrollando técnicas de depósito de películas delgadas que garanticen la obtención de celdas con valores de alta eficiencia y adecuados para la escala industrial (Yang *et al.*, 2014).

Síntesis y caracterización de nanomateriales

Síntesis y caracterización de nanoestructuras con componentes metálicos, dieléctricos y semiconductores; para aplicaciones ambientales, de biosensado y distribución de fármacos (Castillo *et al.*, 2014).

Modelado de las propiedades ópticas de sistemas a nanoescala

Estudios teóricos y numéricos de las propiedades plasmónicas de sistemas a nano escala y fenómenos relacionados (resonancia de plasmones, SERS, campo cercano y otros). Determinación de la reflectancia y transmitancia de monocapas con arreglos periódicos de nanoestructuras (González *et al.*, 2007).

Cambios estructurales asociados a factores ambientales en celdas solares basadas en perovskitas de plomo-haluros y dióxido de titanio sensibilizado por tintes

Se estudian los cambios en la estructura local para celdas solares basadas en perovskitas de plomo-haluros (PSC) y TiO₂ sensibilizado por tintes (DSSC) debido a su exposición a factores ambientales (como humedad o vapor de agua) y el efecto en sus propiedades fotovoltaicas utilizando herramientas experimentales y teóricas, de esta forma proveer de un modelo que represente la cinética de portadores de carga en celdas solares DSSC y PSC (Villanueva-Cab *et al.*, 2016).

Propagación de ondas en medios periódicos: cristales electrónicos, fotónicos y fonónicos

Se estudia la propagación de ondas electrónicas, electromagnéticas y elásticas en sistemas periódicos. Los cristales electrónicos se analizan usando

métodos de primeros principios y semiempíricos. En el caso de los cristales fotónicos y fonónicos el estudio se realiza desde el punto de vista teórico y experimental. También se desarrollan teorías de homogeneización para estos últimos sistemas.

Fabricación y caracterización de novedosas matrices luminiscentes basadas en el ternario CdO-Cu-V₂O₅

Elaboración de materiales en matrices con propiedades luminiscentes novedosas y sus aplicaciones en distintos campos incluyendo el industrial (Lozada-Morales *et al.*, 2012).

Estudio de plasmones asociados a nanopartículas en cristales fonónicos

Creación de nanopartículas en cristales fonónicos con características de plasmones para distintas aplicaciones e innovaciones (Ramos-Mendieta *et al.*, 2014).

Síntesis y caracterización de materiales híbridos orgánico-inorgánico. Materiales óxidos en masa (volumen) y en película delgada crecidos mediante sol-gel

Se lleva a cabo síntesis de nanopartículas metálicas como dopantes para los diversos tipos de materiales híbridos orgánico-inorgánico (Zou *et al.*, s.f.).

Síntesis y caracterización de nanopartículas cerámicas

Síntesis y caracterización de nanopartículas cerámicas (ZnO, hidroxiapatita, grafeno, titanía, etc) con morfología controlada a través de rutas como sol-gel, precipitación hidrotermal asistido por microondas. Las aplicaciones se centran principalmente en fotocatalisis, liberación controlada de fármacos y obtención de recubrimientos polímero-cerámica de matriz polimérica con propiedades antibacteriales, anticorrosivas y resistentes al desgaste (González-Rivera *et al.*, 2016; Reyes-Cervantes *et al.*, 2016).

Diseño de materiales compósitos nanoestructurados con porosidad controlada para aplicaciones medioambientales

Estudio teórico-computacional de nanoestructuras, se estudian las propiedades electrónicas y estructurales de nanoestructuras principalmente en dos dimensiones, con el fin de investigar su posible aplicación en la adsorción de moléculas y para la liberación controlada de fármacos (Chigo-Anota *et al.*, 2015).

Síntesis, caracterización y evaluación de TiO_2 dopado con nanopartículas de plata para la degradación de azul de metileno

Descripción: Se realiza la síntesis de nanopartículas metálicas empleando copolímeros tribloque, además de la biosíntesis de nanopartículas metálicas y se lleva a cabo su caracterización estructural y reológica (Tepale *et al.*, 2016).

Obtención de materiales funcionales avanzados nanoestructurados para el desarrollo de aplicaciones en dispositivos optoelectrónicos, en procesos catalíticos y en generación de energía

Obtención de energía por métodos alternativos a los tradicionales y coadyuvar en la remediación del medio ambiente mediante procesos fotocatalíticos, todo ello utilizando semiconductores y materiales nanoestructurados híbridos funcionalizados o sin funcionalizar (Ha Thi Vu *et al.*, 2012).

Fabricación de películas de alúmina porosa anodizada para aplicación como sustratos de crecimiento de nanotubos de carbono

Se obtienen poros muy ordenados en alúmina porosa anodizada para utilizarlos en la fabricación de nanotubos de carbono. Se realiza un estudio sistemático de los parámetros de fabricación de la alúmina porosa. Se utilizará el níquel como catalizador depositado también por anodización (Nazemi *et al.*, 2014).

Investigación de los efectos de la radiación en las propiedades fotoeléctricas y fotovoltaicas de nanoestructuras de óxidos semiconductores

Estudiar experimentalmente los efectos de la radiación electromagnética sobre las propiedades de conducción en nanoestructuras de óxidos semiconductores. El método de obtención de los materiales será por *spray* pirolisis (Luna López *et al.*, 2014).

Uso de la sonoquímica para la preparación de nanomateriales: TiO_2 y ZnO

Este proyecto se enfoca a preparar estos materiales nanométricos principalmente óxidos metálicos semiconductores, usando un procesador ultrasónico con el objetivo de estudiar sus propiedades para su aplicación en el área ambiental y de la salud (Pokhrel *et al.*, 2016).

La creación de un centro multidisciplinario en nanociencias

Un objetivo a lograr a más tardar en el 2017 es la creación de un centro que aglutine los esfuerzos antes expuestos, permita compartir los equipos con que se cuenta y, sobre todo, crear proyectos de alta envergadura para poder acceder a equipos de vanguardia que permitan consolidar lo hecho hasta ahora y aspirar a mejorar en las publicaciones en revistas internacionales, arbitradas e indexadas, obtención de patentes y licenciamientos y a la formación de recursos humanos con una formación sólida y con un gran impacto en el corto plazo en la innovación.

Colaboraciones

Los distintos cuerpos académicos que participan en los proyectos de nanociencias tienen distintos convenios de colaboración con Instituciones e investigadores tanto nacionales como internacionales destacándose los siguientes:

El Instituto de Ciencias de la BUAP mantiene convenios de colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Monterrey, Nuevo León; con el Centro de Investigación en óptica de León, Guanajuato; Centro de Investigación en Química Aplicada en Saltillo, Coahuila; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con la Universidad de McGill, Canadá; con la Universidad Carlos III de Madrid, España; y con la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, Colombia.

La Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas con la Universidad de Sonora; CINVESTAV del IPN de la ciudad de México; con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) en Juriquilla, Querétaro; con el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM; con el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) de la UNAM campus Querétaro; y con el Instituto de Física de la UNAM.

El Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología mantiene colaboraciones con el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de la UNAM; con la Universidad de Guanajuato; con el Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ); con el CINVESTAV campus Querétaro; con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; y con el Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos.

La Facultad de Ingeniería Química tiene relaciones de colaboración con el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo tecnológico (CCADET) de la UNAM; con el Instituto de Geofísica de la UNAM; con la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional; con el Instituto Tecnológico de Puebla; con el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos Valencia, España; con la Universidad de Guadalajara; Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, en su campus Ensenada, Baja California.

El Instituto de Física “*Luis Rivera Terrazas*” tiene proyectos de colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia, España; con la Escuela Superior de Físico-Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional; con el CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco, Ciudad de México; con la Universidad de Delaware Estados Unidos de América; con la Universidad Politécnica de Valencia, España; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con la Universidad de California en San Diego, Estados Unidos de América; con la Universidad Politécnica de Madrid, España, con el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), con la Universidad Autónoma de Morelos; con Sogang, Universidad de Seúl, Corea del Sur; con el Instituto de Tecnología de la India, Roorkee, India; con el Departamento de Investigación en Física de la Universidad de Sonora; con la Universidad de las Américas-Puebla (UDLA-P); con el CINVESTAV campus Mérida, Yucatán; con el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, campus Temixco, Estado de México; con el Departamento de Química, de la Universidad de Seúl, Corea del Sur; con la Universidad de Kiel, Alemania, con la Universidad Autónoma de Nuevo León; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con el Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid; con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España; con la Universidad del Norte de Texas, Denton Estados Unidos de América; con el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México; con la Universidad Autónoma de Campeche; con la Universidad Autónoma de Coahuila; y con la Universidad de Saarland en Saarbruecken, Alemania.

La Facultad de Ingeniería tiene convenios de colaboración con la Universidad de Virginia del Este en los Estados Unidos de América. Mientras que la Facultad de Ciencias Químicas colabora con la Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa y campus Xochimilco; con el Instituto de Investigaciones Nucleares; con el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México; y con el Instituto Mexicano del Petróleo.

Infraestructura

Las distintas unidades académicas de la BUAP cuentan con equipamiento que permite desarrollar tareas de investigación de vanguardia, el siguiente es un listado de los equipos más importantes y su ubicación.

Instituto de Ciencias

- Equipo de ultravioleta Cary 300 con accesorios para muestras sólidas, en solución, en película y a temperaturas variables.
- Equipo de cromatografía líquida de alta presión con fluidos supercríticos con columna quiral y detección por ultravioleta y espectrómetro de masas.

FIGURA 1. Equipo de emisión de campo y microscopía electrónica de barrido (Field Emission-Scanning Electron Microscopy (FE-SEM), Marca Jeol, modelo JSM-7800F.

Este equipo permite observar morfologías con una magnificación de hasta 1 000 000X con una resolución de menos de 1nm. Laboratorio de análisis de superficies.

Responsable: Dr. Rutilo Silva, Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".



- Equipo de absorción atómica con generador de plasma.
- Equipo de resistividad de cuatro puntas marca Jandel.
- Equipo de impedancia para determinación de constante dieléctrica.
- Equipo de cromatografía de permeación en gel con bomba de alto rendimiento 515 marca Waters.
- Detector de dispersión de luz multi-ángulo de ocho ángulos, DAWN Heleos de marca Wyatt .
- Detector de índice de refracción OptilabrEX de marca Wyatt.
- Detector en línea de viscosidad ViscoStar marca Wyatt.
- Potenciostato PGSTAT Modelo 128 N con módulo FRA32M para mediciones de impedancia, marca Metrohm.
- Turbidímetro 2100p marca Hach.
- Aparato para prueba de jarras de seis paletas marca Hach.
- Potenciómetro automático marca Titrino Metro.
- Microscopio de fuerza atómica Nanosurf easyScan 2 AFM.
- Microscopios ópticos marca Roscope y Motic.
- Espectrofotómetro ultravioleta OceanOptics SD 2000 con esfera integradora para fluorescencia.
- Sistema de evaporación con alto vacío marca Edwards.
- Espectrofotómetro de ultravioleta visible marca Varian.

FIGURA 2. Equipo de difracción de rayos X con radiación de cobre (Cu), marca Panalytical modelo Empyrean.

Con este equipo se pueden realizar experimentos en modo reflexión o transmisión el cual se ubica en el Laboratorio de Difracción de Rayos X del Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".

Responsables: Dra. Ma. Eugenia Mendoza, Ing. Leonel San Román.



- Dos rotavapores marca Heidolph.
- Secadora con vacío marca SEV.
- Bomba de vacío rotatoria marca Shimatzu.
- Viscosímetro marca Brookfield.
- Microscopio estereoscópico marca MY con cámara ZENIT 122.
- Mantas de calentamiento con agitación magnética marca SEV para matraces.
- Manifold para atmósfera inerte/vacío con cuatro puertos marca SEV.
- Destilador para reciclado de solventes con capacidad de cuatro litros, marca SEV.
- Aparato de punto de fusión marca Electrothermal.
- Baño ultrasónico marca Fisher Scientific.
- Recirculadores para refrigeración, marca SEV.
- Difractómetro de rayos X marca Bruker.
- Chiller
- Programas de medición; XRD Commander, XRD Wizard, D8 Tools, D8 Doctor.
- Programas de evaluación; Diffrac plus Basic, Eva, PDFmaint, Dquant, Leptos
- Base de Datos PDF2
- Base de Datos PDF-4+
- Láseres rojo, azul con seis líneas, violeta a 405 nm, ultravioleta de He-Cd de 325 nm.

FIGURA 3. Equipo Nanolog Horiba JOBIN YVON.

Éste es un equipo de fluorescencia con una resolución temporal alta, y con barridos desde 180 hasta 1,200 nm. Medida de tiempos de vida en el orden de nanosegundos. Laboratorio de fluorescencia resuelta en tiempo.

Responsable: Dr. Antonio Méndez Blas, Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".



- Detectores: InGaAs, PbS/Si, Si.
- Monocromador de medio metro.

Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología

- SEM, DRX, AFM, HPLC, CG, TGA-DSC, ICP-PLASMA, FTIR, UV-VIS, Potenciostato.
- Espectroscopía dieléctrica.
- Laboratorio de microbiología.

Facultad de Ingeniería Química

- Electrospinning e infraestructura para su caracterización física y química.
- Espectrofotómetro ultravioleta-VIS, reómetro rotacional.

FIGURA 4. Equipo PPMS Dyna Cool-9.

Éste es un sistema de medición de propiedades eléctricas y magnéticas de nanomateriales.

Responsables: Dr. Umapada Pal, Dra. Ma. Eunice de Anda Reyes, Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”.



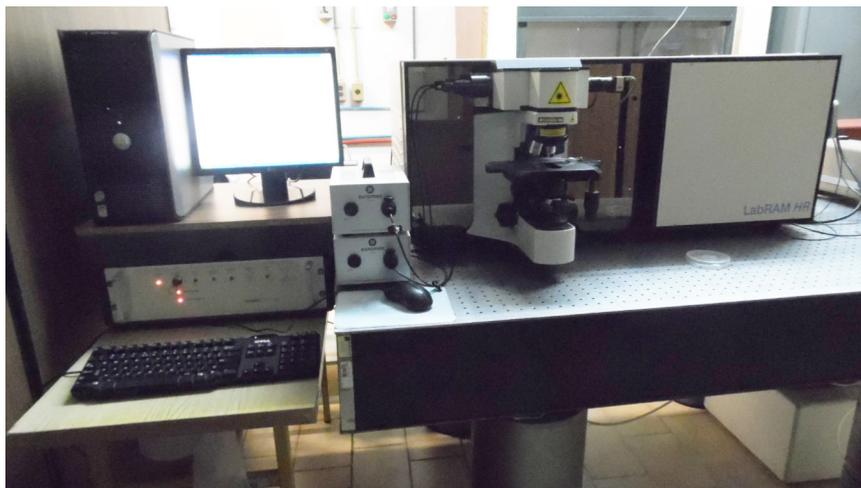
Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”

- Microscopio electrónico de barrido de alta resolución, espectrofotómetro ultravioleta y visible, fotoluminiscencia, micro Raman.
- Dos sistemas de electrodeposición completos e independientes.
- Baño químico para reacciones químicas de precipitación.
- Sistema de anodización electroquímica para Al_2O_3 .
- Sistema de *Spray Pyrolysis*.
- Sistema de *Spin coating*.
- Sistema de procesamiento térmico rápido (RTP) para selenización y/o sulfurización.
- Sistema de silicio poroso.
- Horno tubular para procesamiento térmico de materiales con Ar, O_2 , N_2 .
- Mesa óptica.
- Láser ultravioleta para grabado holográfico.
- Sistema de crecimiento de nanomateriales que tiene: hornos, reactores, autoclaves, sistema de espurreo r.f., horno de microondas, homogeneizador ultrasónico.
- Equipos para caracterización de materiales que contiene: espectrómetro ultravioleta-Vis marca Shimadzu; análisis de textura por

FIGURA 5. Equipo de Micro Raman marca Horiba, modelo LabRAM HR.

Este equipo permite medir modos vibracionales, rotacionales u otros modos de baja frecuencia, para muestras en estado sólido (polvos, pastillas, cristales, etc.) o en solución. Cuenta con un láser de He-Ne en 632.8 nm de longitud de onda, objetivos de Microscopio Olympus a 10x, 50x y 100x, así como con una platina automatizada para realizar muestreos.

Responsable: M. en C. Laura Serrano, Laboratorio Central.



adsorción-desorción Belsorp Mini-II; sistema de caracterización magnética y eléctrica PPMS Dynacool 9.

- Espectrómetro Ultravioleta-Vis, marca Varian con accesorio de reluctancia difusa.
- Microscopio electrónico de barrido JEOL.
- Difractómetro de rayos-X Bruker modelo Discover D8.
- Espectrofotómetro de fluorescencia, marca Varian.
- Sistema de medidas de propiedades físicas marca Dyna Cool-9.
- Mufflas con programación de rampas de calentamiento.
- Equipo dedicado a cómputo científico con ocho procesadores Intel-Xeon (104 núcleos) de 320 GB de memoria RAM y 884 GB de almacenamiento en disco; además de acceso al Laboratorio Nacional de Súpercomputo del Sureste con sede en la BUAP que tiene un clúster “txamula” con 28 procesadores Xeon (216 cores) y 800 GB en RAM distribuidos en 8 nodos.
- Mini CVD, Sistema Schlenk, equipo de inmersión, espectroscopía Raman, espectroscopía ultravioleta-Vis-NIR, FE-SEM.
- Perfilómetro con capacitancia-voltaje, y efecto Hall.
- Equipo de depósito de capas delgadas de SiO₂ por LPCVD.
- Reactores para síntesis solvotermal.
- Sistema de rocío pirolítico.
- Sistema de fotolitografía.

- Equipo de caracterización acústica; VNA, con transductores de 1.1 GHz.
- Centro de cómputo donde se cuenta con un clúster y estaciones de trabajo.

Facultad de Ciencias Químicas

- Material de vidrio para elaborar nanomateriales.

Por último, el Laboratorio Nacional de Súpercómputo es una herramienta fundamental para realizar cálculos, simulaciones y creación de algoritmos para el diseño de nuevos materiales y modelar sus propiedades.

Conclusiones

El área de las nanociencias y nanotecnología en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla es un eje fundamental para el desarrollo de la ciencia básica para las nanociencias y sus aplicaciones. Su desarrollo y fortalecimiento es una prioridad dado que somos parte del clúster automotriz de la meseta central de México y con opciones de ampliación a la industria aeroespacial, mecatrónica, moletrónica y automatización. El arribo de Audi a San José Chiapa ha ampliado nuestra influencia a las cercanías de los estados de Tlaxcala e Hidalgo lo que seguramente potenciará el desarrollo en las nanociencias. La creación de un centro multidisciplinario en nanotecnología por parte de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado permitirá reunir esfuerzos de los investigadores, consolidar los posgrados existentes y la creación de nuevos, y lo más importante es que acercará a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla al sector industrial y sobre todo lograr que los empresarios vean en la ciencia, en particular la nanotecnología, una opción viable para la resolución de sus problemas y desarrollo de materiales a escala nanométrica y con alto valor agregado.

Bibliografía

- Castillo, D. N.; U. Pal. 2013. "Green synthesis of Au nanoparticles using potato extract: stability and growth mechanism". *Journal of Nanoparticular Research*, vol. 16, 2571.
- Chigo-Anota, E.; A. Escobedo-Morales, H. Hernández-Cocolezzi, J. G. López y López. 2015. "Nitric oxide adsorption on non-stoichiometric boron nitride fullerene". E.; vol 74, 538.
- Corro, G.; L. Paniagua, U. Pal, F. Bañuelos. 2013. "Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions". *Energy Conversion Management*, vol. 74, 471.

- De la Luz-Merino S.; M. E. Calixto. 2015. "Nanostructured CuInSe₂ by electrodeposition with the assistance of porous silicon templates". *Materials Chemistry and Physics*, vol. 163, 362.
- Galicia, J. M.; G. Hernández Cocoletzi, y E. Chigo Anota. 2012. "DFT studies of the phenol adsorption on boron nitride sheets". *Journal of Molecular Modeling*, vol. 18, 137.
- González, A. L.; C. Noguez. 2007. "Influence of morphology on the optical properties of metal nanoparticles". *Journal of Computer and Theoretical Nanoscience*, vol 4, núm. 2, 231.
- González-Rivera, Y. A.; A. N. Meza-Rocha, L. Aquino-Meneses, S. Jiménez-Sandoval, E. Rubio-Rosas, U. Caldiño, E. Álvarez, O. Zelaya, A. M. Toledo-Solano y R. Lozada-Morales. 2016. "Photoluminescent and electrical properties of novel Nd³⁺ doped ZnV₂O₆ and Zn₂V₂O₇". *Ceramics International*, vol. 42, 8425.
- Lozada-Morales, R.; A. Cid-García, G. López-Calzada, M. E. Zayas, O. Zelaya, A. J. Carmona-Rodríguez, E. Rubio-Rosas, R. Palomino-Merino, O. Portillo-Moreno y S. Jiménez-Sandoval. "Effect of Er-doping on the structure and optical properties of Cd₂V₂O₇". *Physica Status Solidi A*, vol. 209, núm. 11, 2281.
- Luna López, J.A.; J. L.Sosa Sánchez, S. Granillo Martínez, J. Carrillo López, J. F. Flores-Gracia, J. Martínez-Juárez, D. Hernández de la Luz, N. D. Espinosa-Torres y K. Monfil Leyva. 2014. "Structural and optical properties of a new soluble Erbium (III) octa-substituted bis-phthalocyanine complex". *Superficies y Vacío*, vol. 27, núm. 4, 110.
- Nazemi, A.; S.A. Seyed Sadjadi. 2014. "Controlling the anodizing conditions in preparation of an nanoporous anodic aluminium oxide template". *Materials Science-Poland*, vol. 32, núm. 4, 565.
- Pokhrel, N.; P. Kiran Vabbina, N. Pala. 2016. "Review sonochemistry: Science and engineering". *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 29, 104.
- Quiroga-González, E.; J. Carstensen, H. Föll. 2013. "Optimal Conditions for fast charging and long cycling stability of silicon microwire anodes for lithium ion batteries, and comparison with the performance of other Si anode concepts". *Energies*, vol. 6, 5145.
- Ramos-Mendieta, F.; J. A. Hernández-López y M. Palomino-Ovando. 2014. "Transverse magnetic surface plasmons and complete absorption supported by doped graphene in Otto configuration". *American Institute Physics Advances*, vol. 4, 067125.
- Reyes Cervantes, E.; M. González-Torres, S. Vargas-Muñoz, E. Rubio-Rosas, C. Vázquez, y R. Rodríguez-Talavera. 2016. "Growth of hydroxyapatite on the cellular membrane of the bacterium *Bacillus thuringiensis* for the preparation of hybrid biomaterials". *Materials Science and Engineering C*, vol. 58 614.
- Saldaña, X. I.; E. López-Cruz y D. A. Contreras-Solorio. 2009. "Self-similar optical transmittance for a deterministic aperiodic multilayer structure". *Journal Physics and Condensed Matter*, vol. 21, 155403.
- Tepale, N.; V. Fernández, C. Álvarez, E. Flores, V. González, D. Cruz, M. Sánchez. 2016. Morphological and rheological characterization of gold nanoparticles

- synthesized using pluronic P103 as soft-template”. *Journal of Nanomaterials*, Article ID 7494075, 11 pp.
- Thi Vu, T.H.; T.T. Thi Nguyen, P. Hoa Thi Nguyen, M. Hung Do, H. Thi Au, T. Binh Nguyen, D. Lam Nguyen, J. Seo Park. 2012. “Fabrication of photocatalytic composite of multi-walled carbon nanotubes/TiO₂ and its application for desulfurization of diesel”. *Materials Research Bulletin*, vol. 47, 308.
- Villanueva-Cab, J.; J. L. Montaña-Priede y U. Pal. 2016. “Effects of plasmonic nanoparticle incorporation on electrodynamic and photovoltaic performance of dye sensitized solar cells”. *Journal of Physics and Chemistry C*, vol. 120, 10129.
- Yang, B.; L. Wang, J. Han, Y. Zhou, H. Song, S. Chen, J. Zhong, L. Lv, D. Niu, J. Tang. 2014. “CuSbS₂ as a promising earth-abundant photovoltaic absorber material: A combined theoretical and experimental study”. *Chemical Matter*, vol. 26, 3135.
- Zou, X.; Y. Li, X. Huang, J. Shi y J. Zhao. 2014. “De-sensitized titanium dioxide for gas detection. Titanium dioxide: Chemical Properties, Applications and Environmental Effects. J. Brown (ed.). Nova Science Publishers, cap. 6, 131.