

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato*

Rafael Vargas-Bernal,¹ Ma. Elena Calixto-Olalde,² José Hernández-Barajas,² Oliver Muñiz-Serrato,² Gabriel Herrera-Pérez²

RESUMEN: La nanotecnología y la nanociencia (NyN) representan actividades técnicas de vanguardia, que algunos grupos selectos de investigación y de desarrollo tecnológico alrededor del mundo están realizando para lograr aplicaciones tecnológicas emergentes. En este artículo, un breve resumen de las actividades que con respecto a NyN están siendo desarrolladas por el Departamento de Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) es presentado. Entre las actividades descritas en este documento se encuentran una breve descripción del Instituto y del Departamento de Ingeniería en Materiales, las directrices de investigación, desarrollo tecnológico, e innovación relacionados con nanomateriales; la colaboración con otras universidades y centros de investigación, así como, la participación del Instituto en redes científicas; la infraestructura disponible para la síntesis y caracterización de nanomateriales; las actividades que los investigadores realizan con empresas; las actividades de docencia y formación de recursos humanos; los logros principales que tiene la institución con respecto a NyN; las perspectivas de actividades en NyN deben ser realizadas por los investigadores alrededor del mundo para mejorar el desempeño de los nanomateriales y sus productos, y, finalmente, las páginas web relacionadas con el Instituto y sus actividades sobre NyN son analizadas. La actividad que el Instituto Tecnológico hace con respecto a NyN puede ser atractiva para que estudiantes e investigadores de otras universidades y centros de investigación desarrollen proyectos multidisciplinarios donde las múltiples capacidades científicas y tecnológicas puedan ser explotadas al máximo por todos los participantes de los proyectos científicos o tecnológicos, ya sea desde el área de investigación básica o aplicada.

PALABRAS CLAVE: Nanotubos de carbono, grafeno, compósitos, nanomateriales, óxido de zinc (ZnO).

ABSTRACT: Nanotechnology and nanoscience (N&N) represent cutting-edge technical activities that some select groups of research and technological development around the world are doing to achieve emerging technology applications. In this article, a brief summary of the activities concerning N&N are being developed by the Department of Materials Engineering at the Higher

Recibido: 20 de junio de 2016. Aceptado: 22 de agosto de 2016.

* Se agradece a los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales Dra. Ma. Elena Calixto Olalde, Dr. José Hernández Barajas, Dr. Oliver Muñiz Serrato y Dr. Gabriel Herrera Pérez, así como al M.C.E. Rubén Fernández Trujillo, coordinador de la carrera de ingeniería en materiales del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) por la valiosa información proporcionada para la elaboración de este documento. Se agradecen también los apoyos económicos otorgados a los investigadores por parte de CONACyT, CONCyTEG y PRODEP, así como a la empresa Pequeño Curtidor para realizar investigación científica relacionada con nanomateriales.

¹ Profesor-Investigador Titular "C", Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, C.P. 36821, Irapuato, Guanajuato, México. Correspondencia: (ravargas@itesi.edu.mx). Tel. +52 (462) 606 7900 ext. 123.

² Profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI.

Technological Institute of Irapuato (ITESI) is presented. Among the activities described in this document are a brief description of the Institute and the Department of Engineering Materials, guidelines for research, technological development and innovation related to nanomaterials; collaboration with other universities and research centers, as well as the participation of the Institute in scientific networks; infrastructure available for the synthesis and characterization of nanomaterials; the activities that researchers have performed with companies; teaching activities and training of human resources; the main achievements of the institution regarding N&N; the prospects for activities concerning N&N should be performed by researchers around the world to improve the performance of nanomaterials and their products, and finally the web pages related to the Institute and its activities on N&N are analyzed. The activity that Technological Institute makes regarding nanoscience and nanotechnology can be attractive to students and researchers from other universities and research centers to develop multidisciplinary projects where multiple scientific and technological capabilities can be fully exploited by all participants of scientific and technological projects, either from the area of basic or applied research.

KEYWORDS: Carbon nanotubes, graphene, composites, nanomaterials, zinc oxide (ZnO).

Introducción

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) nació bajo decreto de creación como Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Guanajuato, con personalidad jurídica y patrimonio propio, el 20 de octubre de 1995, cuya misión principal es la formación de ingenieros que contribuyan al desarrollo de Guanajuato y de México. El 18 de agosto de 1996, 10 meses después de su decreto de creación, el ITESI inicia actividades académicas bajo la dirección general del Dr. Juan Sillero Pérez, ofertando dos carreras: licenciatura en informática e ingeniería industrial con instalaciones prestadas y ubicadas en la calle Altamirano No. 7 en la zona centro de Irapuato. El 4 de octubre de 1996 fue colocada la primera piedra que edificaría el plantel actual, ubicando sus aulas y laboratorios en un terreno de 20 hectáreas en el kilómetro 12.5 de la carretera Irapuato-Silao. En el año 2010, bajo el apoyo del gobierno estatal y federal abre planteles en otras ciudades del estado estando vigentes los campus de San Luis de la Paz, San José Iturbide, San Felipe, Cuerámaro y Tarimoro. ITESI ofrece 14 carreras, y 4 maestrías.

Las carreras que ofrece el ITESI en sus diferentes planteles son: ingeniería industrial, ingeniería en sistemas automotrices, ingeniería mecatrónica, ingeniería en materiales, ingeniería electromecánica, ingeniería electrónica, ingeniería en logística, ingeniería en gestión empresarial, ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en informática, ingeniería bioquímica, licenciatura en biología, ingeniería forestal, e ingeniería en innovación agrícola sustentable. Además, se ofrecen las maestrías en ingeniería industrial, en ingeniería eléctrica, en ingeniería electrónica, y en tecnologías de la información. ITESI es una institución certificada bajo la Norma ISO 9001-2008, así como la ISO 14001-2004 con un Sistema Integral de Calidad, y tiene el 60% de programas de estudio acreditados por Organismos Certificadores

en México como CONAIC (Consejo Nacional de Acreditación Informática y Computación A.C.), CACEI (Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería) y CACECA (Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Contaduría y Administración). En particular la carrera de ingeniería en materiales que desarrolla actividades de NyN se encuentra acreditada por CACEI desde enero de 2007 y está reacreditada desde el 15 de diciembre de 2011.

El ITESI, perteneciente a los Institutos Tecnológicos Descentralizados (ITDs) del Tecnológico Nacional de México, realiza investigación científica y desarrollo tecnológico en nanomateriales y nanotecnología a través del Departamento de Ingeniería en Materiales desde su creación en el año de 2004. El Departamento de Ingeniería en Materiales tiene como misión realizar investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, gestión, difusión y divulgación en el área de nanomateriales teniendo un enfoque principal dirigido al desarrollo de materiales poliméricos, cerámicos, compósitos e híbridos nanoestructurados o en la nanoescala con un enfoque multidisciplinario.

El Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI cuenta actualmente con 11 académicos, de los cuales 5 realizan investigación o desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con NyN. Desde noviembre de 2010 se registró ante PRODEP el Cuerpo Académico ITESI-CA-01 “Materiales Avanzados Aplicados a la Ingeniería” manteniendo el nivel de “En Consolidación” desde entonces hasta hoy en día. Los miembros actuales del cuerpo académico son el Dr. Gabriel Herrera Pérez (responsable técnico), el Dr. Oliver Muñiz Serrato, y el Dr. Rafael Vargas Bernal. Una imagen de la entrada y vista del primer edificio del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato es presentada en la figura 1.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con NyN

Actualmente el grupo de profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI que realizan investigación y desarrollo en ciencia y tecnología relacionada con NyN está dividido en dos grupos de

FIGURA 1. Entrada y vista del primer edificio del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI).



TABLA 1. Especialidades de la carrera de ingeniería en materiales desde 2008 a 2014.

ESPECIALIDAD	
<i>Materiales poliméricos</i>	<i>Materiales cerámicos</i>
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde	Dr. Gabriel Herrera Pérez
Dr. José Hernández Barajas	Dr. Oliver Muñiz Serrato
	Dr. Rafael Vargas Bernal

TABLA 2. Especialidades de la carrera de ingeniería en materiales después de 2014 hasta ahora.

ESPECIALIDAD	
<i>Innovación y manufactura en materiales poliméricos</i>	<i>Diseño e innovación de materiales avanzados</i>
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde	Dr. Gabriel Herrera Pérez
Dr. José Hernández Barajas	Dr. Oliver Muñiz Serrato
	Dr. Rafael Vargas Bernal

acuerdo con el área de materiales que imparte dentro del Instituto. Los profesores son egresados de los programas de doctorado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA), Chihuahua, del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), de Vanderbilt University (Estados Unidos), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), y del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE). La distribución de los profesores-investigadores que realizan investigación científica y desarrollos tecnológicos en NyN de acuerdo con las retículas vigentes se describe en las tablas 1 y 2.

Las líneas de generación o aplicación innovadora del conocimiento (LGACs) registradas en PRODEP por parte del Cuerpo Académico Materiales Avanzados Aplicados a la Ingeniería ITESI-CA-01:

- Aplicación de la simulación computacional al estudio de los materiales y nanomateriales.
- Diseño y aplicación de sensores de gas.
- Síntesis y caracterización de materiales y nanomateriales avanzados.

Adicionalmente, las líneas de generación o aplicación innovadora del conocimiento (LGACs) personales registradas en PRODEP por los profesores-investigadores son:

- Síntesis y caracterización de materiales y nanomateriales avanzados.

TABLA 3. Reconocimientos recibidos por los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales desarrollando nanociencias y nanotecnología.

PROFESOR	NIVEL SNI (CONACyT)	PERFIL DESEABLE
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde		
Dr. José Hernández Barajas		
Dr. Oliver Muñoz Serrato		X
Dr. Gabriel Herrera Pérez	I	X
Dr. Rafael Vargas Bernal	I	X

- Diseño e implementación de sensores de gas.
- Ciencia y desarrollo en nanotecnologías emergentes.
- Diseño y análisis de circuitos integrados.
- Obtención de materiales nanoestructurados para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes.
- Síntesis de materiales nanoestructurados y formación de películas delgadas a través de procesos en solución.
- Polimerización heterofásica de polímeros acrílicos (emulsión inversa, directa y por precipitación).
- Poliuretanos base agua.
- Caracterización de materiales.
- Aplicaciones de la química cuántica computacional al estudio de los materiales.
- Síntesis y caracterización de materiales mesoporosos.
- Materiales aplicados a la catálisis y adsorción.

Los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales han sido reconocidos por sus trayectorias académicas y científicas por sus contribuciones a la investigación por parte de CONACyT (Sistema Nacional de Investigadores) y PRODEP (Profesor con Perfil Deseable) como lo indica la tabla 3 (información hasta agosto de 2016).

Dentro de las líneas de investigación en NyN que se llevan a cabo en el ITESI se desarrollan los siguientes proyectos de investigación científica básica y aplicada:

- Síntesis de hidrogeles y nanohidrogeles para su aplicación como soportes y nanosportes. (Dra. Calixto).
- Síntesis y caracterización de nanomateriales adsorbentes con aplicación potencial a la adsorción de contaminantes. (Dra. Calixto).
- Síntesis de nanocompuestos polímero/arcilla-nanotubos de carbono aplicados en la adsorción de metales pesados. (Dra. Calixto).
- Síntesis, modelado y caracterización de materiales compósitos basa-

- dos en polímeros y nanomateriales de carbono con propiedades eléctricas. (\$100,000.00 pesos PRODEP e ITESI). (Dr. Vargas).
- obtención de películas de TiO₂ nanogranulares con superficies texturizadas para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes. (\$100,000.00 pesos PRODEP e ITESI). (Dr. Muñiz).
 - Desarrollo de película de polipropilenos CAST (CPP) nucleado con estabilidad mecánica mejorada similar a películas bioorientadas a partir del uso eficiente de nanocargas minerales. (Dr. Herrera).
 - Determinación de los mecanismos de conducción eléctrica en materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono. (\$1,400,000.00 pesos CONACyT). (Dr. Vargas).
 - Desarrollo de recubrimientos metálicos y cerámicos para cambios térmicos y tolerantes a la radiación cósmica (\$300,000.00 CONACyT). (Dr. Vargas).
 - Aplicación de materiales cerámicos nanoestructurados en el diseño de sensores de gas. (Dr. Herrera).
 - Síntesis y caracterización de cerámicas avanzadas para su aplicación en nanotecnología y química fina. (\$300,000.00 ITESI-CONCyTEG). (Dr. Herrera).
 - Formación de películas nanoestructuradas y con superficies texturizadas para mayor absorción de luz solar. (Dr. Muñiz).
 - Desarrollo de nanocompósitos transparentes y flexibles polímero-arcilla formados por el proceso de colada de soluciones para celdas solares flexibles. (Dr. Muñiz).
 - Obtención de películas de grafeno conductoras eléctricas y transparentes por medio de exfoliación electroquímica. (Dr. Muñiz).
 - Desarrollo Tecnológico de Recubrimientos de Poliuretano de Alto Desempeño. (\$300,000.00 pesos PROMEP). (Dr. Herrera).
 - Degradación de pesticidas con la aplicación del ZnO como fotocatalizador. (\$ 150,000.00 TecNM). (Dr. Herrera).
 - Transformación catalítica del glicerol a un producto de mayor valor agregado. (\$ 200,000.00 TecNM). (Dr. Herrera).

Colaboración y proyectos

El ITESI es una institución abierta a la colaboración con universidades y centros de investigación nacionales y del extranjero que realizan investigación y desarrollo tecnológico en el área de NyN con diferente grado de formalidad. Se tiene colaboración con las universidades y centros de investigación (ordenadas alfabéticamente):

- Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Campus Monterrey y Chihuahua.
- Centro Nacional de Metrología (CENAM).

- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICyT).
- Instituto Tecnológico de Celaya (ITC).
- Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).
- Universidad de Guadalajara (UdeG).
- Universidad de Guanajuato (UG).
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).
- Universidad Pública de Navarra (España).

Se participa con actividades de NyN en las siguientes redes temáticas de CO-NACyT:

- Red de Nanociencias y Nanotecnología (REDNYN), 3 miembros.
- Red de Ciencia y Tecnología Espaciales (REDCyTE), 1 miembro.
- Red Temática Nacional de Aeronáutica (RTNA), 1 miembro.
- Red Mexicana de Materia Condensada Blanda (RMMCB), 1 miembro.
- Red Estatal de Divulgación y Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología (REDyECyT) Guanajuato, 2 miembros.

La membresía a la red de NyN (REDNyN) ha permitido tener acceso a apoyos económicos para la participación en congresos de nuestros tesis y becas para ellos así como la interacción con investigadores de una gran trayectoria académica y científica a nivel nacional.

La colaboración interinstitucional ha sido un factor determinante para la realización de los diversos proyectos de investigación, en todas ellas se ha realizado la caracterización de los materiales obtenidos, por lo cual esto permite fortalecer las líneas de investigación que actualmente se desarrollan, así como concluir de forma exitosa los proyectos terminales de los estudiantes.

Infraestructura

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato dispone de 1 laboratorio especializado para la preparación y caracterización de nanomateriales. Se cuenta con campana de flujo laminar y de extracción, hornos, centrífuga, medidores de pH, micro-balanzas, y reactores para síntesis de polímeros (figura 2). Adicionalmente tiene equipos de caracterización como espectrómetro infrarrojo (FTIR), Raman, UV-VIS, analizador térmico diferencial (DTA) y analizador termogravimétrico (TGA), y equipo de determinación de área superficial BET (figura 3).

FIGURA 2. Equipos para síntesis de nanomateriales.



FIGURA 3. Equipos para caracterización de nanomateriales.



En el área de NyN de polímeros hay un reactor Buchi Ecoclave 75 (figura 4) de 1 litro de capacidad en donde se realizan la síntesis de diversos sistemas poliméricos y diversas reacciones, gracias a su soporte de presiones y temperaturas altas.

Para la caracterización de distribución de tamaños de partícula de los sistemas poliméricos heterofásicos se cuenta con un equipo de dispersión de luz marca Malvern modelo Mastersizer 2000 que se muestra en la figura 5. Con este equipo se pueden hacer determinaciones de tamaños de partículas desde 20 nm hasta 2 milímetros con la ayuda de un láser He-Ne.

Para la determinación de las propiedades reológicas de algunos polímeros se dispone de un reómetro híbrido Discovery (DHR-3) de TA Instruments ilustrado en la figura 6. Este equipo permite estudiar las propiedades viscoelásticas de los polímeros bajo condiciones extremas.

FIGURA 4. Reactor Buchi Ecoclave 075. **FIGURA 5.** Mastersizer 2000 de Malvern.



FIGURA 6. Reómetro Híbrido Discovery DHR-3.



FIGURA 7. Máquina universal de ensayos mecánicos marca Shimadzu modelo AGS-X 10KN.



Para la determinación de las relaciones-propiedades mecánicas de los polímeros se dispone de una máquina universal de ensayos mecánicos marca Shimadzu modelo AGS-X 10KN que se muestra en la figura 7.

Actividades con empresas

ITESI ha fomentado sus vínculos con el sector empresarial a través de la realización de proyectos de desarrollo tecnológico vinculados con la NyN como se describe a continuación:

- “Desarrollo a nivel piloto de modificadores reológicos de alto desempeño y alto valor agregado”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2015, con un monto de \$2,000,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Dispersiones acuosas híbridas de poliuretano-acríticas para calzado por rutas químico-enzimáticas”, proyecto vinculado con la empresa Simón Química, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2015, con un monto de \$286,468.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Desarrollo tecnológico de dispersiones acuosas de poliuretano para las industrias del cuero-calzado mediante el uso de un proceso biotecnológico para la obtención de polioles precursores”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2013, con un monto de \$1,900,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Desarrollo tecnológico de micropartículas de poliuretano de alto desempeño”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2011, con un monto de \$2,150,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).

- “Desarrollo tecnológico de micropartículas termoplásticas acrílicas de alto desempeño”, proyecto vinculado con El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. en el Fondo Mixto Guanajuato-CONACyT 2010, con un monto de \$256,000.00 pesos para ITESI (Dr. Hernández Barajas).

Propiedad intelectual solicitada y otorgada

Hasta el momento la propiedad intelectual no ha sido solicitada y otorgada ya sea debido a que los avances están vinculados con actividades de ciencia básica o debido a que los desarrollos realizados están destinados a empresas donde el secreto profesional no ha permitido difundir a la opinión pública los avances alcanzados en nanociencia y nanotecnología. Se espera que en los próximos años con los avances alcanzados puedan ser patentados algunos desarrollos que se encuentran en proceso.

Docencia y formación de recursos humanos

Los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales que realizan actividades en NyN están activamente comprometidos con las labores de docencia y formación de recursos humanos. Ellos imparten en promedio 2 cursos de licenciatura por semestre ya sea del tronco común de ingenierías o de la especialidad a la cual ellos están adscritos. Los profesores dirigen tesis de grado, participan en comités de tutorías o de jurados de exámenes recepcionales, son asesores de residencias profesionales y de servicio social universitario, así como asesores del Verano de la Ciencia de la Región Centro y del Verano Estatal de Investigación con temáticas en NyN. Adicionalmente se participa en la aplicación de exámenes de admisión y de cursos básicos de nivelación para los alumnos de nuevo ingreso. Cada seis años junto con los profesores de institutos tecnológicos del país se crean y actualizan los planes de estudio de la carrera y cada 2 años se crean y actualizan los programas de las especialidades que se imparten localmente en el instituto en los dos últimos semestres de la formación académica de la licenciatura en ingeniería de materiales.

El Departamento de Ingeniería en Materiales desde su retícula 2004 imparte cursos con material asociado con NyN en el curso llamado materiales avanzados que apareció en la retícula en el séptimo semestre y era curso de tronco común para las especialidades ofrecidas. En la retícula 2010, aparece formalmente el curso llamado Introducción a los Nanomateriales también en el séptimo semestre del tronco común de ingenierías. La carrera de ingeniería en materiales inició actividades con dos especialidades en donde el uso de nanomateriales se refleja dentro de sus contenidos de los programas de estudio y sobre todo en las temáticas asociadas con los temas de tesis: materiales poliméricos y materiales cerámicos (tabla 1). Estas especialidades estuvieron vigentes hasta 2014, las cuales fueron actualizadas por las espe-

cialidades llamadas: 1) innovación y manufactura en materiales poliméricos, y, 2) diseño e innovación de materiales avanzados.

Dentro de la carrera de ingeniería en materiales se cuenta con un modelo de titulación que consiste en el desarrollo de un proyecto de investigación con un tiempo de duración en promedio de 10 meses, esto permite a los estudiantes aplicar los conceptos aprendidos en semestres anteriores, así como el desarrollo de habilidades genéricas, capacidad de análisis, redacción de textos científicos, análisis de información y solución de problemas, entre otras. Generalmente se agrupan en equipos de dos, sin embargo también puede ser un solo estudiante. En este contexto se han realizado proyectos de titulación relacionadas con el área de nanociencias y nanotecnología, dentro de los títulos más recientes se encuentran:

- Síntesis y caracterización de un nanocompósito a base de hidrogel/ arcilla como soporte de inmovilización.
- Determinación de la viabilidad del nanocompósito de hidrogel/arcilla como biocatalizador en la obtención de biodiesel.
- Síntesis y caracterización de materiales compuestos quitosano/NIPA/MMT-Na⁺ para su potencial aplicación en la eliminación de arsénico.
- Síntesis de nanocompósito quitosano/polialcohol vinílico/montmorillonita-nanotubos de carbono para su potencial aplicación en la adsorción de cromo.
- Síntesis y caracterización de nanomateriales adsorbentes con aplicación potencial a la adsorción de cobre.
- Evaluación de las propiedades eléctricas del nanocompósito quitosano/montmorillonita-nanotubos de carbono.
- Estudio de la capacidad de adsorción de cromo en medio acuoso utilizando el nanocompósito quitosano/ polialcohol vinílico/ montmorillonita- nanotubos de carbono.
- Modelado de la conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado de la permitividad eléctrica de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Comparación del desempeño de los modelos de conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Estudio del comportamiento de la conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Análisis de los métodos de funcionalización no-covalente de nanotubos de carbono para la entrega de medicamentos.
- Análisis de los métodos de funcionalización covalente de nanotubos de carbono para la entrega de medicamentos.

- Diseño matemático de micro y nanorobots: nanocarro como plataforma para la detección, diagnóstico y tratamiento de cáncer.
- Análisis de materiales cerámicos para sensores de gas.
- Obtención de nanopartículas de cerámica avanzada.
- Modelado eléctrico y mecánico de nanocompuestos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado térmico y magnético de nanocompuestos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado y síntesis de grafeno para aplicaciones electrónicas.
- Formación de superficies texturizadas a través de la técnica de replicación por moldeo.
- Obtención de nanocompuestos flexibles y transparentes de poliestireno/caolinita: delaminación y dispersión de caolinita.
- Producción de películas de grafeno transparentes y conductoras a través de un proceso en solución.
- Obtención de películas de TiO_2 con superficies cuasi-aleatorias, para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes.
- La formación de un nanocompuesto polímero-arcilla, para su aplicación como sustrato en celdas solares flexibles.
- Síntesis y caracterización de nanoestructuras basadas en ZnO.
- Obtención de materiales zeotipos para su aplicación en catálisis heterogénea.

La Dra. Ma. Elena Calixto Olalde actualmente es codirectora de una tesis de doctorado de una alumna del Instituto Tecnológico de Celaya. Esta tesis tiene como fin sintetizar un hidrogel nanocompuesto para el diseño de filtros para la adsorción de arsénico. Hoy en día, otros de los investigadores de este equipo de trabajo asesoran tesis de maestría con otras universidades ya sea como colaboradores de cuerpos académicos o como parte del *staff* académico en programas con orientación a ingeniería en materiales.

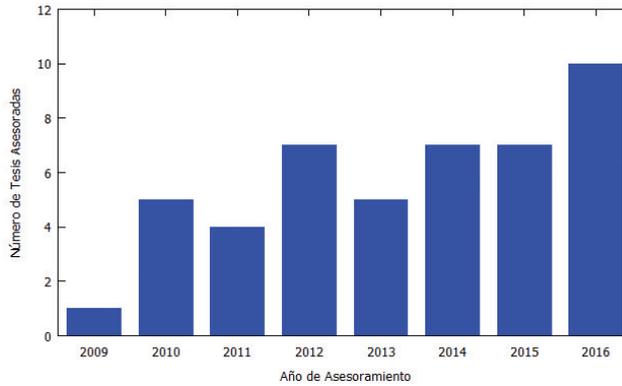
El Departamento de Ingeniería en Materiales todavía no cuenta con programas de posgrado en el área de NyN, el primero se encuentra en trámite en la Dirección de Posgrado del Tecnológico Nacional de México. La iniciativa plantea la creación de un programa en ciencias, el cual sería precursor en la institución ya que los 4 programas de posgrado ofertados hasta ahora en otras áreas del TESI son del tipo profesionalizante.

La cantidad de tesis de licenciatura asesoradas en relación con las NyN por los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales en el transcurso del periodo 2009-2016 se ilustra en la figura 8.

Principales logros en el área de NyN

Los principales logros del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI en el área de NyN se pueden resumir en la siguiente forma:

FIGURA 8. Tesis de licenciatura asesoradas en el área de NyN.



- 1) Actualmente, de los 5 profesores que realizan investigación en NyN, 3 de ellos tienen perfil PROMEP deseable y 2 SNI I. Todos los profesores investigadores realizando actividades de investigación en NyN han obtenido apoyos económicos para realizar sus proyectos de investigación por parte de CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), CONCyTEG (Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato), y PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente). Esta situación permite pronosticar un futuro prometedor a fin de que el desarrollo en NyN permanezca garantizado para el grupo multidisciplinario del Instituto.
- 2) Se ha logrado publicar artículos en revistas indexadas tales como *Materials Letters* (Elsevier), *Microscopy and Microanalysis* (Cambridge University Press), *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* (IEEE), y en *International Journal of Circuit Theory and Applications* (Wiley) (figura 9). En el caso de capítulos en

FIGURA 9. Artículos publicados en revistas indexadas relacionadas con NyN.

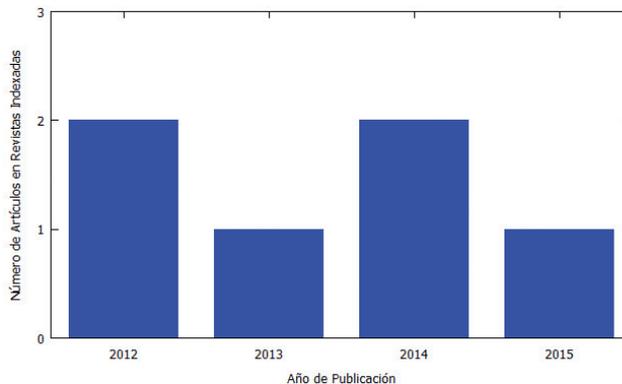
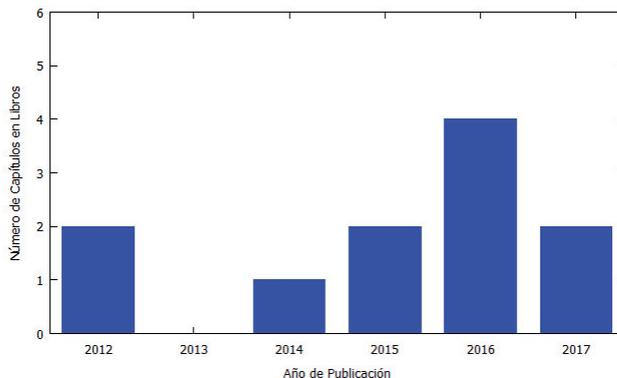


FIGURA 10. Capítulos en libros publicados relacionados con NyN.

libros se ha logrado publicar en editoriales tales como *Intech* (Croacia), *Springer* (Alemania), *One Central Press* (Reino Unido), y en *IGI Global* (Estados Unidos) (figura 10).

- 3) El área de modelado de nanomateriales ha permitido demostrar la aplicación de la simulación de modelos matemáticos para predecir las propiedades físicas de materiales compósitos basados en polímeros y nanotubos de carbono, óxidos metálicos, y materiales basados en grafeno. Estos resultados han permitido comparar los valores teóricos encontrados en nuestras actividades de investigación con aquellos reportados experimentalmente por diferentes grupos de investigación a nivel mundial. De tal comparación ha podido ser posible el diseño de cubiertas para el blindaje a la interferencia electromagnética, sensores de gas, y dispositivos electrónicos tales como transistores de efecto de campo (FETs).

Perspectivas sobre actividades de NyN

Los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI que trabajan en el área de NyN consideran que las principales perspectivas desde sus áreas de desarrollo personal pueden resumirse de la siguiente manera:

- El desarrollo de la nanotecnología en el área de materiales ha sido de gran impacto pues permite una aplicación directa a diversas áreas. La preparación de nanocompósitos permite obtener materiales que pueden modificar sus propiedades de manera significativa, por la incorporación de nanomateriales, y a la vez confinar el nanomaterial dentro de una matriz que evita su exposición al medio ambiente y con ello se tiene un mejor control de esta clase de materiales, lo cual reduce el impacto ambiental. Es importante considerar la manipulación

adecuada de los nanomateriales ya que aún se desconoce el impacto que pueden tener en la salud del planeta, por lo cual los nanocompósitos constituyen un área de oportunidad de gran interés, en particular el desarrollo de nanocompósitos aplicados a la biotecnología. Además de la formulación, estructura y propiedades, es importante mejorar la dispersión del nanomaterial en la matriz ya que éste es un factor influyente en las propiedades finales del material, aunado a su formulación, enfoque de interés de los actuales y próximos proyectos de investigación.

- Un reto importante en NyN es el desarrollo de nanomateriales que permitan una eficiente absorción de luz solar y una alta conducción de electrones; esto para aplicaciones en celdas solares sensibilizadas con colorantes. En la absorción de luz es deseable controlar la nanoestructura de los materiales para que absorban mayor cantidad de energía en el rango de la luz visible y para que además estos materiales muestren una alta estabilidad química. Es necesario también obtener nanomateriales que presenten una mínima o nula recombinación de los electrones fotogenerados, para tener altos niveles de conducción eléctrica. En este sentido, se están utilizando procesos en solución tanto para la síntesis como para la deposición de los nanomateriales, pues estos procesos pueden ser una ruta viable y económica para obtener nanomateriales con los requerimientos deseados.
- Haciendo uso de las redes de vinculación universidad-empresa se pueden desarrollar proyectos multidisciplinarios donde se combinen la ingeniería de reacciones, biotecnología y nanotecnología como lo es el desarrollo de materiales de dimensiones nanométricas del Dr. Hernández Barajas a través del uso de dispersiones acuosas de poliuretano usando polioles obtenidos por medios enzimáticos.
- Es necesario optimizar los modelos matemáticos para predecir las propiedades físicas de los materiales nanocompósitos, con el fin de obtener valores teóricos mucho más cercanos a los valores experimentales. De esta manera se reforzaría la reproducibilidad y confiabilidad de los nanomateriales desde la etapa de diseño, lo cual supondría la reducción de costos y tiempo de síntesis para un gran número de aplicaciones donde las propiedades físicas deben ser sintonizadas.

Sitios de interés relacionados con ITESI

Página institucional: <<http://www.itesi.edu.mx>>.

Página de google académico de la Dra. Ma. Elena Calixto Olalde: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=JVwm7LkAAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. Oliver Muñiz Serrato: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=F4zmPfwAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. Gabriel Herrera Pérez: <<https://scholar.google.es/citations?user=Kj1eF5UAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. José Hernández Barajas: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=Yl1taEYAAAAJ&hl=es&oi=ao>>.

Página personal del Dr. Rafael Vargas Bernal: <<http://www.angelfire.com/celeb/rvargas>>.

Página de google académico del Dr. Rafael Vargas Bernal: <<https://scholar.google.com/citations?user=fNdQrD0AAAAJ&hl=es>>.