

Instituto de Investigaciones en Materiales-UNAM*

Rocío G. de la Torre Sánchez**

RESUMEN: El Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM tiene como objetivo realizar investigación científica y tecnológica sobre estructura, propiedades, procesos de transformación y desempeño de los materiales. Mediante la nanotecnología se busca obtener beneficios de las propiedades que ocurren cuando al menos una de las dimensiones del material es menor a los 100 nm, o bien cuando durante el proceso para su obtención se controlen las unidades elementales a escala molecular o atómica, formándose partículas con dimensiones menores a 10 nm. En el IIM se han desarrollado seis principales líneas de investigación relacionadas con las nanociencias y la nanotecnología: nanocompositos, materiales nanoporosos, modelado y simulación, materiales con estructura nanométrica, nanoestructuras basadas en carbono, materiales moleculares. El estudio e impacto de las aplicaciones nanotecnológicas son muy variados, van desde el desarrollo de implantes médicos, acarreo de fármacos, recubrimientos antibacteriales, hasta aplicaciones industriales en la fabricación y desarrollo de catalizadores, celdas de combustible, captura de gases contaminantes, sensores de gases, dispositivos ópticos, celdas solares, mejoramiento de polímeros, etc. Derivado de estos estudios, el IIM cuenta con una gran variedad de colaboraciones con entidades educativas, centros de investigación, organismos públicos y privados, nacionales e internacionales. De igual forma, la innovación de sus investigaciones se ha reflejado en la presentación y obtención de patentes, así como en el desarrollo de proyectos con gran impacto en la sociedad. Estos logros son resultado de la alta calidad y especialización de sus investigadores y técnicos; así como de la infraestructura disponible en el Instituto.

PALABRAS CLAVE: IIM, ciencia, nanotecnología, innovación.

ABSTRACT: The Materials Research Institute of the UNAM aims to make scientific and technological research on structure, properties, processing and performance of materials. Nanotechnology seeks to benefit from the properties that occur when at least one of the dimensions of the material is less than 100 nm, or when during the process for obtaining the elementary units are controlled at the molecular or atomic scale, forming particles with smaller than 10 nm. The IIM's researchers work on different topics related to nanoscience and nanotechnology: nanocomposites, nanoporous materials, modeling and simulation, nanostructured materials, carbon-based nanostructures, and molecular materials. The study and impact of nanotechnology applications are varied, ranging from the development of medical, transport of drugs, antibacterial coatings implants, to industrial applications in manufacturing and development of catalysts,

Recibido: 31 de marzo de 2016. Aceptado: 21 de abril de 2016.

* Se agradece profundamente el apoyo brindado por los investigadores del Instituto de Investigaciones en Materiales, los doctores Sandra Elizabeth Rodil Posada, Octavio Manero Brito, Antonio Sánchez Solís, Marcela Beltrán Sánchez, Patricia Guadarrama Acosta, y Ricardo Vera Graziano, para la realización de este documento.

** Secretaría de Vinculación del IIM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México. Teléfono: +(52) 56 22 45 81. Correspondencia: (covinc@iim.unam.mx).

fuel cells, capture of polluting gases, gas sensors, optical devices, solar cells, improving polymers, etc. Derived from these studies, the IIM has a variety of partnerships with educational institutions, research centers, public bodies and private, national and international. Likewise, innovation of his research has been reflected in the filing and obtaining patents, as well as the development of projects with great impact on society. These achievements are the result of high quality and expertise of its researchers and technicians, as well as the infrastructure available at the Institute.

KEYWORDS: IIM, science, nanotechnology, innovation.

Historia del IIM

Los materiales siempre han estado presentes en la historia del hombre, los producimos, utilizamos y modificamos para sobrevivir y aumentar nuestro bienestar. Dada su importancia, en la UNAM se promovió la necesidad de estudiarlos de manera independiente a otras disciplinas, creando así el Centro de Materiales el 1 de febrero 1967, instalado en el piso 11 de la antigua Torre de Ciencias. En 1969 se ampliaron sus líneas de investigación con los estudios sobre polímeros y materiales cerámicos, convirtiéndose entonces en el Centro de Investigaciones en Materiales, y en 1970 se traslada a sus actuales instalaciones en el circuito exterior.

Debido al impacto y avance de las investigaciones realizadas en el Centro, el 21 de noviembre de 1979 se convirtió en el actual Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), el cual forma parte del Subsistema de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM tiene como objetivo realizar investigación científica y tecnológica sobre estructura, propiedades, procesos de transformación y desempeño de los materiales, además de colaborar con la industria y con otras instituciones académicas nacionales e internacionales mediante un gran número de proyectos.

La formación de recursos humanos ha sido siempre una de sus prioridades. Es relevante el número de investigadores que iniciaron su carrera como estudiantes asociados al Instituto y que ahora forman parte de plantillas académicas de distintas dependencias dentro y fuera de la UNAM.

El personal académico adscrito al Instituto está conformado por un total de 62 investigadores y 25 técnicos académicos; además de doctores realizando estancias posdoctorales. Los investigadores y técnicos conforman una red multidisciplinaria de conocimientos permitiéndoles colaborar en los diferentes laboratorios y grupos de investigación.

Dentro de las diversas líneas de investigación, el IIM cuenta con una amplia gama de proyectos relacionados con las nanociencias y la nanotecnología (NyN).

¿Por qué estudiar nanomateriales?

La razón por la cual es importante estudiar materiales y estructuras a escalas nanométricas es debido al descubrimiento de que las restricciones en su tamaño casi siempre producen propiedades fisicoquímicas cualitativamente diferentes a sus contrapartes en bulto.

La nanotecnología busca obtener beneficios de estas propiedades novedosas de la materia, las cuales ocurren cuando al menos una de las dimensiones del material es menor a los 100 nm, o bien cuando durante el proceso para su obtención se controlen las unidades elementales a escala molecular o atómica, formándose partículas con dimensiones menores a 10 nm, en las que pueden presentarse fenómenos cuánticos sumamente interesantes. Sin embargo, desde el punto de vista tecnológico, también es de gran importancia el ensamblado de dichas nanoestructuras para formar sistemas nanocompuestos o estructuras a mayor escala.

Los fenómenos que ocurren a escalas nanométricas tienen sus propios principios físicos y descripciones teóricas que estamos en proceso de descubrir. Así, un paso importante en el desarrollo de la nanotecnología, que implica la conversión del conocimiento en soluciones tecnológicas útiles, es exactamente la adquisición de este conocimiento científico fundamental.

Los ejemplos actuales del uso de la nanotecnología han demostrado que la generación de materiales a partir del ensamblaje de nanoestructuras ofrece la posibilidad de “ajustar” las propiedades físicas, químicas, magnéticas, electrónicas y/o mecánicas de los materiales de acuerdo con aplicaciones específicas. Para que este proceso sea efectivo es necesario desarrollar conocimientos sobre la relación entre estructura-propiedades-proceso, así como de los modelos fundamentales que predigan adecuadamente la física y la química de las nanoestructuras y como su ensamblaje puede dar lugar a materiales con propiedades nuevas y mejoradas.

Los avances logrados en los métodos de síntesis, caracterización y modelado teórico de nanomateriales ofrecen una oportunidad única para el diseño de materiales nanoscópicos y del estudio de los fenómenos que ocurren a nivel nanométrico.

Con los métodos actuales de síntesis de nanopartículas se puede controlar el tamaño y la composición a escala nanométrica. Si además logramos un mejor entendimiento de las conexiones entre estructura y actividad, podremos ajustar dichas actividades para cumplir las necesidades particulares de cada proceso.

En nuestro intento por convencer sobre la importancia del estudio de los nanomateriales, haremos una breve descripción sobre los estudios en materia de NyN desarrollados en el IIM, clasificados de la siguiente forma:

- 1) Nanocompuestos
- 2) Materiales nanoporosos
- 3) Modelado y simulación

- 4) Materiales con estructura nanométrica
- 5) Nanoestructuras basadas en carbono
- 6) Materiales moleculares

Nanocompositos

Son una combinación de dos o más fases, donde al menos una de ellas está en la escala nanométrica y las otras tienen propiedades significativamente diferentes entre sí. Las propiedades del nanocomposito dependen no sólo de las propiedades de sus componentes individuales, sino también de su morfología, distribución, tamaño y características interfaciales.

Aplicaciones de los nanocompositos

Catálisis heterogénea, reforzamiento mecánico de componentes ligeros (polímeros/nanotubos de carbono), óptica no-lineal, electrodos en celdas de combustible, sensores, etc. Los nanocompositos se pueden producir en diferentes dimensiones: unidimensionales (nanotubos embebidos en una matriz), bidimensionales (películas delgadas y membranas), o tridimensionales (polímeros o aleaciones metálicas reforzados).

Catálisis heterogénea

Películas de Oro (Au)/soporte: Los estudios realizados sobre la actividad catalítica de nanocúmulos de oro depositados sobre óxidos metálicos y semiconductores han demostrado que el funcionamiento catalítico del oro depende del tamaño y dispersión de las nanopartículas de oro, de los soportes, y de los métodos de preparación. Una de las metas más importantes de los estudios de nanociencia relacionados a la catálisis heterogénea es el entendimiento a nivel atómico de las relaciones entre actividad catalítica, sitios activos y estructura electrónica en las reacciones catalizadoras. El desarrollo y la producción masiva de catalizadores heterogéneos constituyen uno de los retos más importantes para la aplicación eficiente de la nanotecnología en la reducción de la contaminación del aire a nivel mundial.

NP-Me/óxido: Las propiedades físicoquímicas de los nanocompositos basados en nanopartículas metálicas (NP) embebidas en matrices óxidas pueden controlarse dependiendo del tamaño y forma de las NP's, así como de las interacciones entre éstas y la matriz. Al controlar la dispersión de las NP's en los óxidos se puede tener acceso a una gran variedad de aplicaciones tecnológicas, que van desde la catálisis heterogénea, sensores de gases hasta materiales con propiedades de óptica no-lineal.

Recubrimientos resistentes al desgaste

Recubrimientos ultraduros: Los recubrimientos duros han sido utilizados exitosamente para la protección de materiales y en particular para alargar la vida de herramientas de corte desde los años 70. Se pueden aplicar mediante: a) multicapas compuestas por dos capas alternantes de materiales diferentes (metales, nitruros, carburos, óxidos) cuyos espesores son de escala nanométrica y se repiten periódicamente formando una super-red; b) nanocompositos formados por al menos dos fases, y, c) películas con un tamaño de grano nanométrico. Los dos primeros son ejemplos de nanocompositos donde de manera ordenada o desordenada se alternan dos fases diferentes, mientras que el tercero es un material homogéneo con nanoestructura. En este caso se escogen componentes cuyas propiedades físicas sean suficientemente diferentes con la finalidad de que las propiedades resultantes del nanocomposito puedan ser modificadas seleccionando apropiadamente las fases y la fracción volumétrica de los componentes.

Recubrimientos con propiedades antibacteriales

La reducción de la adhesión bacteriana en los implantes médicos puede realizarse mediante la modificación de sus propiedades superficiales: composición, carga superficial, hidrofobicidad y morfología superficial. La modificación superficial puede realizarse por diferentes métodos y en este proyecto se plantea estudiar el efecto de recubrimientos basados en un nanocomposito compuesto de nanopartículas de plata embebidas en una matriz de material biocompatible. Dependiendo de la aplicación biomédica, se puede cambiar el material biocompatible que funciona como matriz; por ejemplo, en implantes ortopédicos debe usarse una matriz que sea biocompatible y resistente al desgaste. Mientras que para recubrimientos de materiales poliméricos, la adhesión es la propiedad más relevante.

Dispositivos de óptica no-lineal

Polímeros/nanocristales orgánicos. Existen muchos compuestos orgánicos cristalinos tal como los colorantes xantenos, los cuales no pueden formar películas delgadas con buena calidad óptica, por lo que una manera de obtener películas de los cristales es mezclándolos con polímeros amorfos. En este proyecto se busca obtener materiales nanocompositos de polímeros amorfos y nanocristales, esperando que las películas contengan compuestos orgánicos conjugados en una alta concentración con un tamaño de cristal menor a 100 nm, con el objetivo final de obtener una mezcla molecular (sin cristalización, mezcla homogénea) de polímeros amorfos y compuestos orgánicos funcionales.

Reforzamiento polimérico, optoelectrónica

Polímeros/arcillas: La mezcla de nanopartículas con polímeros fundidos por métodos de transformación, como son el proceso de extrusión e inyección, mejora notablemente las propiedades físicas de estos polímeros. Una de las mejores materias primas para conseguir tener láminas de tamaño nanométrico son las arcillas. En este proyecto se utilizan nanopartículas de arcilla en sistemas de polímeros termoplásticos y termofijos por medio de procesos de mezclado en estado fundido, principalmente el denominado extrusión reactiva. Las propiedades que presentan estos compuestos son superiores a las de la matriz polimérica en cuanto a su procesabilidad, resistencia al fuego, permeabilidad a gases y resistencia a temperaturas elevadas.

Biomédicas

Materiales dentales: Los aspectos más deseados de las restauraciones odontológicas son su calidad y estética. Los principales problemas de los compositos poliméricos implantados en dientes son el encogimiento de la fase orgánica durante su polimerización y la pérdida gradual de sus propiedades una vez que son implantados en el diente. Estas limitaciones conducen a microfisuras interfaciales que eventualmente desembocan en caries e impiden la reconstrucción tisular. Las nanopartículas hasta cierta concentración pueden ayudar a reducir el encogimiento y mejorar las propiedades del implante.

Síntesis y caracterización de polímeros para usos biomédicos. El objetivo general de esta línea de investigación es contribuir al estudio y desarrollo de materiales poliméricos competitivos destinados a interactuar con un medio biológico para mejorar o reemplazar las funciones de tejidos humanos duros y blandos. Se preparan y estudian membranas porosas de polímeros funcionales a base de nanofibras entre 50 y 500 nm de diversos polímeros para que actúen como andamios celulares útiles en ingeniería de tejidos y en liberación controlada de fármacos. Para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, los polímeros se modifican con diversos agentes funcionales (colágena, fibroína y celulosa, nanopartículas de hidroxapatita, biovidrio, fibronectina y distintos fármacos).

Materiales nanoporosos

Una de las aplicaciones más importantes de las membranas nanoporosas es su uso como filtros para moléculas biológicas, las cuales pueden ser seleccionadas, no sólo por el tamaño del poro, sino también a través de la activación del poro para que elija a la molécula de acuerdo con una propiedad física especial. Las membranas nanoporosas tienen aplicaciones como soporte para la síntesis de otros materiales nanoestructurados, como capas internas dieléctricas en capacitadores de alta capacitancia, sensores y actuadores.

Para los materiales nanoporosos en bulto, la propiedad que los hace extremadamente útiles es el aumento en el área superficial, la cual mejora sus propiedades catalíticas, de absorción y de adsorción. En general, pueden separar o almacenar gases, tales como H₂, CH₄ o CO₂, y permiten la extracción o atrapamiento selectivo de solventes. Por lo que su uso como sistemas para almacenar H para celdas de combustible es una de las grandes oportunidades de estudio. Otro material nanoporoso de interés es el silicio nanoporoso por sus aplicaciones en fotónica, como emisor de luz, y en biomédicas como un material biodegradable para implantes médicos.

Catálisis

Cianometalatos y enrejados metal-orgánicos (EMO) nanoporosos. Los materiales moleculares nanoporosos se caracterizan por tener en la superficie de sus poros, átomos de metales de transición con una alta reactividad dado que tienen su esfera de coordinación incompleta. Es posible diseñar estructuras moleculares con cúmulos metálicos en sus poros, los cuales resultan aptos para procesos catalíticos de baja temperatura como los que demandan muchos procesos medioambientales para descomponer o secuestrar contaminantes altamente nocivos a los seres vivos.

Fotónica y sensores

Silicio nanoporoso. El confinamiento cuántico juega un papel decisivo en el comportamiento electrónico de materiales nanoestructurados. En particular, el silicio poroso representa un ejemplo con grandes perspectivas tecnológicas, ya que es totalmente compatible con la microelectrónica actual y además posee una alta eficiencia en la foto y electro luminiscencia. Con el fin de corroborar experimentalmente los resultados de modelos teóricos se propone producir muestras de silicio poroso y multicapas cuasiperiódicas del mismo material, es decir, alternando capas de alta y baja porosidad.

Modelado y simulación de nanomateriales

La capacidad experimental tanto en la síntesis de nanomateriales cada vez más pequeños de manera repetitiva y controlada, manipulando prácticamente átomo por átomo, como en técnicas experimentales de muy alta resolución, se ha incrementado. Todo ello ha logrado que las simulaciones y los experimentos vayan finalmente de la mano. Los materiales llamados nanométricos, nanomateriales o bien cúmulos atómicos, se caracterizan por tener baja dimensionalidad, baja coordinación y por lo tanto efectos importantes en todas las propiedades provocadas tanto por el confinamiento cuántico como por efectos de superficie. Estos efectos conllevan a que exhiban muchas propiedades físicas sustancialmente diferentes a sus contrapartes

macroscópicas. Además en su evolución hacia el bulto, conforme crecen, las propiedades de los nanocúmulos ocurren de manera “no escalable”. Estos cambios sólo pueden ser estudiados de manera fundamental por las simulaciones y modelado teórico, ya que en los sistemas experimentales es común tener distribuciones de tamaño y las propiedades medidas resultan ser un promedio de las contribuciones individuales.

Propiedades electrónicas y magnéticas de cúmulos metálicos y bimetálicos. Los estudios se realizan tanto en fase gaseosa, en cúmulos libres como en cúmulos saturados por recubrimientos químicos tanto de forma parcial añadiendo una o más moléculas a la superficie como total (saturando el total de la superficie del cúmulo). Finalmente, los cúmulos se depositan en superficies para comparar el cambio en sus geometrías y por ende en sus propiedades físicas y químicas. Estos estudios se combinan con resultados experimentales de espectroscopía de fotoemisión de aniones (PES) y se realizan en los mismos sistemas logrando un estudio completo de las propiedades geométricas y electrónicas tanto teóricas como experimentalmente en un mismo sistema. Se realizan también los siguientes estudios: estudio de la influencia del ambiente químico en sus superficies; búsqueda de mínimos de energía de nanopartículas y nanoestructuras mono y bimetálicas mediante técnicas de algoritmos genéticos; ensambles de nanopartículas de oro y compuestos orgánicos; estudio de interacciones molécula-sustrato en soportes; obtención de óxidos multifuncionales nanoestructurados; detección por espectroscopía PES y FIR-MPD de sus estructuras geométricas, autoensambles de nanoclusters metálicos; catálisis de NO_x y CO en sus superficies.

Materiales nanoestructurados (amorfos y porosos) para el almacenamiento de hidrógeno y otros gases. Ante la disminución en la producción de los combustibles fósiles, y los problemas ecológicos que su uso conlleva, el hidrógeno ha sido considerado el vector energético del futuro. El propósito de esta propuesta es evaluar al silicio poroso para la adsorción de hidrógeno, contemplando la posibilidad de utilizar el silicio poroso como tanque de combustible.

Materiales con estructura nanométrica. La mayoría de los materiales convencionales tienen tamaños de grano que van desde los 100 nm hasta cientos de milímetros (monocristales). En este caso el número de átomos contenidos dentro de los granos es considerablemente mayor al de los átomos que conforman las fronteras, por tanto, el comportamiento de estos materiales y sus propiedades está principalmente determinado por la composición y estructura de los granos, en los que las dislocaciones juegan un papel importante. Sin embargo, cuando un material policristalino es producido con tamaños de grano nanométricos, de unos 10 nm o menos, éstos exhiben propiedades físicoquímicas nuevas.

Fotónica

Síntesis de nanoestructuras cuasi unidimensionales. Para la síntesis de estos sistemas se emplea óxido de aluminio nanoporoso como molde. El óxido nanoporoso se obtiene por anodización de aluminio donde los poros en forma de canales paralelos entre sí pueden tener diámetros desde algunos nanómetros hasta decenas de nanómetros y longitudes de micras. Mediante el uso de precursores y tratamientos químicos apropiados es posible llenar los poros con el material deseado; por lo que el nuevo material tomará la forma del poro y así se pueden obtener nuevos materiales con diferentes morfologías a nivel nanoscópico.

Silicio polimorfo (Pm-Si). El material más utilizado en la industria micro y macroelectrónica es el silicio en sus diversas formas. Estos materiales por lo regular se encuentran en formas de obleas de silicio monocristalino o policristalino. Aún resulta muy caro producir el silicio en forma de obleas para determinadas aplicaciones, por lo cual se han buscado nuevas modalidades para obtenerlo y poder bajar los costos de producción. Una de éstas es la obtención de silicio en forma de películas delgadas sobre sustratos baratos. Los dispositivos de películas delgadas fabricados a partir del silicio amorfo presentan problemas de degradación, limitando mucho su utilización. El silicio polimorfo, pm-Si, consiste de una matriz de silicio amorfo con nanopartículas de silicio embebidos en su interior, el cual presenta una amplia gama de características, tanto desde el punto de vista de su absorción, como de sus mecanismos de transporte. En el IIM se realiza la investigación para el estudio, fabricación y escalamiento de películas de silicio polimorfo nanoestructurados para ser utilizadas en celdas solares.

Sensores y materiales electroluminiscentes

Películas delgadas por rocío pirolítico. Los materiales nanoestructurados presentan un incremento de la reactividad química por unidad de masa, respecto de los mismos materiales que están constituidos por partículas de tamaño mayor. Mediante el proceso de rocío pirolítico se han preparado diversos materiales: aislantes eléctricos, semiconductores, contactos conductores transparentes, luminiscentes, estructuras electroluminiscentes, celdas solares, sensores químicos de gases, por mencionar algunos.

Electrolitos sólidos, catálisis, ánodos en celdas de combustible

Electrocerámicos nanoestructurados. Los materiales electrocerámicos nanoestructurados presentan ventajas en diversas propiedades físicas en comparación con las cerámicas tradicionales, permitiendo su aplicación en diferentes áreas como son: medicina, dispositivos eléctricos y electrónicos, así

como para sensores y nuevas fuentes de energía, para ser utilizados como electrolitos sólidos y materiales catalíticos.

Captura de gases contaminantes

Los óxidos de carbono (CO_2 y CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son algunos de los principales gases producidos durante la combustión orgánica. Se ha observado que la cinética y capacidad de captura de los diferentes gases está limitado por el área superficial expuesta de los materiales utilizados. Por lo tanto, el diseño y obtención de materiales con una mayor área superficial puede generar un incremento de la eficiencia de estos materiales. En este proyecto se propone el estudio de nuevos materiales (cerámicos de elementos alcalinos y/o alcalinotérreos), a utilizarse en el control de la contaminación atmosférica, específicamente en la reducción o eliminación de emisiones al ambiente de CO_2 , CO y NO_x .

Nanomagnetismo

En este proyecto se estudian las características, propiedades y posibles aplicaciones magnéticas, las cuales pueden influir en las propiedades catalíticas de los materiales. En el IIM se estudian magnetos moleculares, nanopartículas de metales de transición, y espintrónica. En los siguientes campos también se pueden encontrar una gran variedad de aplicaciones: 1) transporte en alambres y puntos cuánticos; 2) micro y nanomagnetismo; 3) nanocatálisis; 4) estructuras autoensambladas; 5) materiales que combinen metales encapsulados en nanotubos; 6) superconductores; 7) aislantes o conductores magnéticos y no magnéticos; 8) *nanocluster* metálico basado en tierras raras con actividad catalítica; 9) polímeros lineales encapsulados y/o intercalados en estructuras periódicas o cavidades porosas.

Nanoestructuras basadas en carbono

Las nanoestructuras basadas en carbono son variadas: nanotubos, fulerenos, nanoconos, nanocuernos, nanofibras, etc. Estas estructuras pueden ser de una sola pared o de varias paredes, pueden tener curvaturas gaussianas cero, positivas o negativas. Esta diversidad y la dependencia de sus propiedades físicoquímicas de los parámetros estructurales hacen que las nanoestructuras de carbono sean un importante tema de investigación teórica y experimental.

Aplicaciones de las nanoestructuras basadas en carbono

Los nanotubos de carbono se han propuesto para utilizarse como puntas en los microscopios de fuerza atómica, transistores de efecto de campo, emisores

de electrones, alambres cuánticos y sensores químicos o para soportes de catalizadores debido a su gran área superficial, refuerzos para aleaciones de baja densidad debido a su alto módulo elástico y bajo peso, membranas para desalación de agua, etc. A su vez, los fulerenos han sido estudiados como nanocápsulas para almacenar fármacos o para almacenar átomos de materiales ferromagnéticos, lo que les confiere propiedades magnéticas muy interesantes.

Síntesis de nanotubos de carbono

Se investigan diferentes geometrías del cátodo-ánodo con el fin de realizar la producción masiva de nanotubos de carbono. A su vez, se plantea investigar el uso de metales catalizadores novedosos y el papel que juega cada uno en el crecimiento y la estructura final de las nanoestructuras. Por el método de CVD o descomposición térmica de vapores químicos, ya se han obtenido nanotubos de carbono de paredes múltiples a partir de vapores de hexano, etanol y disulfuro de carbono empleando hierro como catalizador.

Catálisis

Síntesis de soportes con nanotubos de carbono. En el área de síntesis catalítica de nuevos materiales, el crecimiento de nanoestructuras de carbono por métodos químicos (CVD) o químicos asistidos físicamente (PECVD) ofrece la posibilidad del uso de nanoestructuras de carbono como catalizadores. Estos sistemas de producción no son específicos para la producción de nanotubos de carbono, sino que pueden utilizarse para otros materiales, tales como nanoestructuras de óxidos metálicos que constituyen materiales con alto potencial para catálisis.

Materiales moleculares

Dentro del estudio de los nanomateriales se encuentra la arquitectura dendrímica, debido a su semejanza con estructuras altamente ramificadas como dendritas neuronales o ramas de los árboles. La arquitectura dendrímica es una de las topologías más encontradas en la naturaleza y se piensa que tal arquitectura es el resultado de un proceso evolutivo de millones de años para optimizar procesos de captación, almacenamiento y distribución de energía o nutrientes o información. Debido a la precisión de su arquitectura molecular, aunado a sus propiedades físicas poco comunes de alta solubilidad y baja viscosidad, entre otras, los dendrímeros se presentan como materiales artificiales atractivos en varias áreas como óptica, catálisis, biomímica, etc. A diferencia de los polímeros convencionales, los dendrímeros se preparan mediante estrategias de síntesis por pasos, ya sea de manera divergente (del núcleo hacia la periferia) o de manera convergente (unidades

predendriméricas que convergen en un núcleo), lo cual permite un control estructural (tamaño, composición y reactividad química) mucho mayor, en comparación con otros materiales nanoestructurados.

Aplicaciones de los materiales moleculares

La forma globular con cavidades de los dendrímeros ofrece aplicaciones potenciales en encapsulamiento y acarreamiento de fármacos que presentan problemas de solubilidad y/o toxicidad mientras alcanzan su sitio de acción. Otras aplicaciones biomédicas son: agentes de medio de contraste para resonancia, marcadores radiológicos o vectores para terapia génica.

En el área de catálisis, debido al gran número de grupos terminales en la periferia, la funcionalización con grupos catalíticamente activos puede ser una oportunidad para la construcción de “nanoreactores químicos” con aplicación tanto en catálisis homogénea como heterogénea. Los dendrímeros ofrecen propiedades prometedoras tales como: i) su fácil separación del medio de reacción mediante cambios adecuados de disolventes o empleando filtración con membranas; ii) su posible reutilización, y, iii) la introducción controlada de sitios catalíticos.

Encapsulado de fármacos

Nano-acarreadores dendriméricos. Se realizan estudios relacionados con la síntesis orgánica de nanomateriales para el acarreamiento y liberación de fármacos, principalmente anticancerígenos, antiparasitarios y recientemente antioxidantes para atender neurodegeneración asociada a la diabetes. Como vehículos se emplean arquitecturas macromoleculares poco convencionales como los dendrímeros, aplicando la metodología conocida en el campo de la nanomedicina como terapia macromolecular, para aumentar la solubilidad y biodisponibilidad de moléculas hidrofóbicas activas, observándose ventajas terapéuticas y farmacocinéticas, en comparación con las terapias convencionales.

Colaboraciones

El Instituto de Investigaciones en Materiales coordina el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, y contribuye al impulso de esta disciplina en otras entidades de la UNAM, como las facultades de Ciencias, Ingeniería y Química, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, el Instituto de Física, el Instituto de Energías Renovables, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada y el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Se colabora en México con otras instituciones mexicanas como el CINVESTAV, el CENAM, el ININ, la UAM, la UNANL, el CIATEC, el Centro de Investigaciones en Óptica; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, SADOSA y

FARMAQUIMIA, entre otros. Y con diversas entidades internacionales entre las que se encuentran el Centro de Interacciones Bionano de la Universidad de Dublín; la Universidad de Saarbucken, en Alemania; la Universidad de Birmingham, Reino Unido; Commonwealth Richmond University USA; Naval Research Lab, EUA; Central Florida University, EUA; Johns Hoptkings University, EUA; Max Planck, en Berlin Alemania; Compañía AVANZARE, en España; la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Coimbra, en Portugal; el IFZP Instituto Fraunhofer para pruebas no destructivas, en Alemania; el POLITO Politécnico de Torino, Italia; Universidad de Picardie Jules Verne; la Universidad Técnica de Hamburgo; el Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, en Italia; la Universidad de Liverpool; Universidad de Paris-Diderot, Francia; Escuela Normal Superior de Cachan, Francia; Universidad de Ciencias Aplicadas de Jena, Alemania; Universidad de Maine, Le Mans, Francia; Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, España; Universidad del País Vasco, Bilbao, España.

Principales logros del IIM en NyN

1. Proyecto de desarrollo e innovación de válvulas cardiacas. Este proyecto comprendió entre sus objetivos, la sustitución de productos importados, en este caso, las válvulas cardiacas. En el Grupo de Reología del IIM, se diseñó y construyó la parte plástica de las válvulas; el desarrollo de nuevos materiales con propiedades mecánicas mejoradas y radio-opacidad, para poder monitorear el comportamiento de la válvula en el cuerpo humano. Para esto, se produjeron partículas de sulfato de bario de tamaño nanoscópico y éstas se mezclaron con polímeros biocompatibles, como poliuretanos y polioximetileno. Este proceso da como resultado materiales radio-opacos, los cuales pueden ser examinados por rayos-X y monitorear su estado de deterioro. Al mismo tiempo, es posible por medio de técnicas de birrefringencia en rayos-X monitorear el estado de los esfuerzos *in situ* de las válvulas.

2. Catéteres radio-opacos transparentes y agujas de resina poliéster. Con la compañía “Equipos Médicos Vizcarra” se llevó a cabo la producción de catéteres utilizando sulfato de bario de tamaño nanoscópico intercalado en una matriz plástica, por medio del proceso de extrusión-termo formado. Los productos son transparentes, pero opacos a los rayos-X. Se desarrolló una nueva tecnología de producción de agujas hipodérmicas plásticas a partir de resina poliéster y nanotecnología. A estos productos se les ha dado amplia difusión en periódicos, revistas y boletines. Este desarrollo es importante porque las agujas sustituyen a las de acero, pero no son reciclables, lo que evita su reúso y la propagación de enfermedades. Esta tecnología fue premiada por parte del Programa de Fomento al Patentamiento e Innovación de la UNAM.

3. Reciclado de polietilen tereftalato empleando nanocompuestos. Ésta es la primera tecnología que emplea nanotecnología para reciclar

materiales plásticos, en particular el PET. La Comisión de Preservación del Medio Ambiente, protección ecológica y cambio climático de la Asamblea del Distrito Federal ha considerado que este desarrollo es importante para la sustitución de la madera por reciclado de plásticos, en donde existe un doble impacto ambiental: se beneficia la basura plástica y se preserva la madera. El documento de la asamblea considera punto de acuerdo la solicitud a las Secretarías de Educación y Medio Ambiente de incrementar las acciones para desarrollar una cultura de cuidado al medio ambiente, para realizar campañas de reciclaje de PET en las escuelas de la Ciudad de México.

4. Desarrollo de laminados y varas con elevadas propiedades mecánicas y al impacto. Estos productos contienen una matriz plástica (obtenida a partir de insumos reciclados) y nano partículas de arcilla o mica y fibras. Sus propiedades de resistencia a la intemperie, mecánicas y de resistencia al impacto son extraordinarias, y pueden ser utilizados como elementos de construcción y como sustitutos de varas de madera empleados en los campos de cultivo de plantas como tomates, chile, frijol, etc.

5. Síntesis de nanopartículas de sulfato de bario de varias morfologías. Este proyecto con aplicaciones tecnológicas importantes fue iniciado como tema de tesis doctoral, cuyo contenido ha sido objeto de dos reconocimientos: el Premio del Programa de Fomento al Patentamiento de la UNAM y el premio Loreal. El material de la tesis ha sido reportado en varias publicaciones en revistas de prestigio, en las que se describe la síntesis de estos materiales y su uso en matrices poliméricas compatibles con los organismos vivos.

6. Desarrollo de tuberías corrugadas empleando polietileno reciclado reactivo y nanopartículas. En conjunto con la compañía ADS Mexicana (filial de Advanced Drainage Systems) se desarrollaron tuberías corrugadas con mejores propiedades fisicomecánicas, empleando un desarrollo patentado nuestro, que consiste en un cabezal-mezclador estático que produce una mejor dispersión de las partículas y el negro de humo en los tubos. Además, se incorporaron nanopartículas de arcilla al sistema.

7. Proceso de obtención de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama asistido por ultrasonido. Se han obtenido materiales plásticos antinflama con base a dos polímeros: polietileno y poli-propileno, sustituyendo los compuestos halogenados que son tóxicos. Este desarrollo se ha realizado en el Instituto de Investigaciones en Materiales y en el CIATEC, A.C., de León, Gto. Los materiales desarrollados presentan propiedades antinflama excepcionales, ya que han obtenido la norma de máxima calidad "V0", de acuerdo con las normas de inflamabilidad UL (Underwriters Laboratories), donde la clasificación V0, V1 y V2 determina el grado de autoextinción de un polímero, identificando con V0, la extinción del fuego en 10 segundos.

8. Producción de durmientes plásticos para vías de ferrocarril. La compañía Gysapol, S.A. de C.V., ha obtenido un contrato con el metro de la

Ciudad de México para la producción de durmientes plásticos de alta resistencia que sustituyan a los de madera o concreto que necesiten ser reemplazados. Este proyecto requiere de tecnologías nuevas que permitan cumplir las normas requeridas para dicha producción. Para ello, la compañía y el Instituto de Investigaciones en Materiales han acordado elaborar un convenio de licenciamiento de tecnología para la transferencia de la patente “Cabezal-mezclador estático con ultrasonido para el procesamiento y producción de nanocompuestos con arcillas”. El proyecto involucra la fabricación del cabezal y las pruebas necesarias para la producción de los durmientes.

9. Fabricación de cabezal-mezclador estático para procesamiento de materiales nanocompuestos termoplásticos con arcilla. Este proyecto fue financiado por la compañía “Aceromex, S.A. de C.V.” con el objetivo de producir el cabezal, el cual genera flujos extensionales y distribuye las nanopartículas con una adecuada dispersión en la matriz polimérica. El cabezal fue colocado en un extrusor que produce tubería de riego en la zona de los Mochis, Sin., utilizando plástico reciclado. Este proyecto utiliza y pone en práctica la patente “Cabezal-mezclador estático para el procesamiento y producción de nanocompuestos termoplásticos con arcillas”.

10. Materiales nanocompuestos con PET, PE de alta densidad reciclados y nanopartículas de arcilla aplicados a la producción de trajineras, varas y estacones para Xochimilco. Este proyecto, financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de la Ciudad de México, consiste en la producción de trajineras hechas a base de plásticos reciclados provenientes de la basura plástica. Para ello se realizó la transferencia de 4 patentes. Aproximadamente cada 5 años una trajinera queda inservible si no se le dan los cuidados adecuados; además, la producción de una trajinera de madera involucra la tala de varios árboles. Esta situación, aunada a la contaminación presente en los canales de Xochimilco por basura, motivó la elaboración de un proyecto entre la SCTI del Gobierno de la Ciudad de México y el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. El proyecto se encaminó a la solución de dos problemas relevantes: la sustitución de la madera por materiales reciclados y la utilización de la basura plástica como materia prima. Se emprendió la fabricación de una trajinera con plástico reciclado obtenido de la basura plástica, principalmente de polietileno y PET (poli-tereftalato de etileno).

11. Proyecto BisNano. El proyecto BisNano contó con la participación de 18 socios; 16 instituciones de investigación y/o educación superior, dos empresas mexicanas (FARMAQUIMIA y SADOSA) y una empresa europea (AVANZARE). El objetivo principal del proyecto BisNano se basó en la adquisición de conocimiento básico sobre nanoestructuras de Bismuto, buscando obtener nuevos materiales para el desarrollo de productos y dispositivos. Se evaluaron algunas posibles aplicaciones de materiales basados en bismuto, desde nanocerámicos foto luminiscentes, celdas solares electroquímicas, piezoeléctricos libres de plomo, polímeros reforzados con partículas basadas

en bismuto como retardantes de fuego o propiedades antiestáticas, sensores de presión y dispositivos termoelectrónicos. El desarrollo y producción de nanoestructuras basadas en Bi fue uno de los grandes logros del proyecto, el acervo de materiales producidos es bastante amplio e incluye nanopartículas, películas delgadas, nanocerámicos y materiales nanocompuestos. Para cada uno de estos sistemas se demostró la capacidad de controlar las relaciones entre síntesis y estructura.

12. Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental, PUNTA. Cuyo objetivo central es el desarrollo de catalizadores que puedan ser utilizados para controlar los niveles de gases contaminantes como el CO y el NO_x en el ambiente, un problema que últimamente ha atraído un gran interés de la comunidad científica con el avance de la investigación en nanomateriales. Se requiere que exista esta interacción entre los grupos que hacen la simulación y los grupos experimentales que trabajan tanto en la síntesis como en la caracterización de los catalizadores, e inclusive aquellos que realizan un trabajo de ingeniería y pueden hacer uso de los resultados de la simulación numérica. El objetivo general del proyecto es el estudio de las propiedades topológicas y electrónicas de cúmulos metálicos tanto soportados como no soportados y su interacción con moléculas de CO y NO_x como función del tamaño.

Infraestructura

El Instituto cuenta con una amplia infraestructura para la realización de una gran variedad de análisis y pruebas en diversos laboratorios apoyando los proyectos de NyN, como:

Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica. El IIM es sede del LUME, donde se realiza la caracterización estructural, elemental y morfológica de los materiales a escala micro y nanométrica. Se cuenta con las técnicas más avanzadas de microscopía electrónica y personal altamente capacitado. Los equipos del LUME son: microscopio electrónico de barrido de emisión de campo JEOL 7600, unidad de micromaquinado por haz de iones JEOL JEM-9320 y microscopio electrónico de transmisión con corrector de aberraciones para obtener resolución picométrica (JEOL ARM 200).

Laboratorio de Cromatografía y Dispersión de Luz Láser. Cuenta con equipos para análisis cromatográfico en fase gas y fase líquida, con detectores de ionización a la flama, espectrometría de masas, índice de refracción y dispersión de luz láser. El principal objetivo del laboratorio es caracterizar polímeros y macromoléculas en solución, para así obtener la distribución de tamaño de partícula, masa molecular absoluta y relativa, así como el grado de pureza de diferentes materiales y la cantidad de monómero residual en resinas dentales, para prótesis total o parcial.

Laboratorio de Espectroscopía de Infrarrojo e Intemperismo Acelerado. Espectroscopía de infrarrojo, para la identificación química de mate-

riales, determinación de pureza y en síntesis química para estudiar los productos de reacción. El intemperismo acelerado: para estudiar materiales que están expuestos a la acción del sol, lluvia y cambios de temperatura y predecir su comportamiento en cuanto a durabilidad. Se estudian pinturas, adhesivos, impermeabilizantes, recubrimientos, películas plásticas, telas y bajo ciertas condiciones corrosión en metales.

Laboratorio de Análisis Térmico. Ahí se estudian los cambios en la masa, dimensiones, flujo de calor o propiedades mecánicas de cualquier tipo de material, en función de la temperatura, en un entorno controlado. Con estos análisis se puede conocer la estabilidad térmica de los materiales, expansión, composición, temperatura de fusión, pureza, compatibilidad, polimorfismo, entre otras cosas.

Laboratorio de Rayos X. se realiza la identificación de fases (comparación con bases de datos), la determinación de distancia interplanar, el cálculo de ancho a la altura media (FWHM) para determinación de tamaño promedio del cristalito, el porcentaje de área cristalina vs amorfa para materiales con mezcla de estas fases mediciones para análisis de refinamiento. Se cuenta con una base de datos PDF-2 2004, la cual cuenta con software para identificación de estructuras. La infraestructura con la que se cuenta es: para películas delgadas con y sin sustrato se utiliza el equipo de difracción Siemens D500, con geometría q - $2q$, lámpara de Cu, monocromador secundario de grafito y con un detector de centelleo. Para películas delgadas con sustrato o piezas metálicas se utiliza el equipo de difracción Rigaku ULTIMA-IV con geometría q - q , lámpara de Cu y detector de centelleo.

Propiedad Intelectual

Al IIM le han sido otorgadas 5 patentes en el área de NyN:

1. Método para obtener películas y laminados nanocompuestos de termoplásticos y arcillas. [A. Sánchez Solís, O. Manero. Título de patente No. 287418].
2. Cabezal-mezclador estático para el procesamiento y producción de nanocompuestos termoplásticos con arcillas. [A. Sánchez Solís, O. Manero. Título de patente No 290445].
3. Nuevos procedimientos de fabricación de materiales compuestos de resina poliéster con nanopartículas en sustrato de agua. [A. Rivera, A. Sánchez Solís y O. Manero. Título de patente No. 335511].
4. Procedimiento para la preparación de películas a base de silicio amorfo dopado. [Monroy López Roberto, Muhl Sanders Stephen, Francis Pickin William. Título de patente No.166664].
5. Método para depositar sobre un sustrato películas de óxido de aluminio y estaño. [Roberto Monroy López, Armando Ortiz Rebollo. Título de patente No. 170277].

Y cuenta con 12 solicitudes de patente en México:

1. Materiales compuestos de matriz polimérica con reforzantes de diferentes morfologías y procedimientos de síntesis. [C. Romero, A Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2009/012860, solicitud internacional PCT/Mx2010/000140].
2. Cabezal-mezclador estático con ultrasonido para el procesamiento y producción de nanocompuestos con arcillas. [A. Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2012/001086].
3. Proceso de obtención de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama asistido por ultrasonido. [Guadalupe Sánchez Olivares, Antonio Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2012/011265].
4. Composición de nanocompuestos de pet-pen-arcilla-g-lisina. [Faus-to Calderas, Antonio Sánchez Solís, Octavio Manero, Guadalupe Sánchez Olivares, Oscar Jiménez. Mx/a/2012/012036].
5. Composición de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama a base de polietileno de alta densidad. [Guadalupe Sánchez Olivares, Antonio Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2013/009291].
6. Proceso para la obtención de superimanes nanocompositos con dos fases magnéticas y geométricas complejas. [Ignacio Alejandro Figueroa Vargas, José Israel Betancourt Reyes MX/a/2012/006856].
7. Método para la obtención de metasilicato de litio poroso y su uso para la captura de dióxido de carbono. [Heriberto Pfeiffer Perea, Eugenia de la Salud Contreras García, Carlos Gómez Yáñez, José Ortiz Landeros. MX/a/2012/003936].
8. Nanocompuestos de ABS reciclado con alta resistencia mecánica y a la hidrólisis. [Alfredo Maciel Cerda, Oswaldo Neftalí Ramírez Hernández. MX/a/2012/011266].
9. Arcillas modificadas, promotores de adherencia para carpetas asfálticas, mezclas asfálticas para pavimentación y su uso. [Mikhail Tlenkopatchev, Paula Cristina Arroyo Martínez. MX/a/2013/011436].
10. Diseño y uso de un nanorrecostrucción de óxido de titanio con estructura atómica amorfa en superficies de dispositivos biomédicos microestructurados con potencial efecto en la respuesta biológica de células mesenquimales humanas. [Víctor Irahuen García Pérez, Argelia Almaguer Flores, Sandra Elizabeth Rodil Posada. MX/a/2015/016124].
11. Grafeno y nanografito por Ultrasonido-HASE y su uso como reforzante en materiales compuestos de matriz polimérica. [Antonio Sánchez Solís, Ricardo Pérez Chávez, Rigel Leonardo Moreno Morales, Luis Medina Torres, Rocío Guadalupe de la Torre Sánchez, Octavio Manero Brito. MX/a/2016/002380].

12. Sistema electromecánico para recubrir fibras ópticas y dispositivos fotónicos cilíndricos con polímeros. [Amado Manuel Velázquez, Juan Arnoldo Hernández Cordero. MX/a/2016/003059].

Sitios de interés relacionados con el IIM

- Página institucional: <<http://www.iim.unam.mx/>>.
- Google maps: <<https://goo.gl/maps/ssxHon82sn92>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/iimunam>>.
- LinkedIn: <<https://www.linkedin.com/company/instituto-de-investigaciones-en>>.
- Proyecto BisNano: <<http://www.bisnano.eu/>>.