

# Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM

Víctor Sánchez Mendieta,<sup>1</sup> Dora Alicia Solís Casados<sup>2</sup> y Alfredo Rafael Vilchis Néstor<sup>3</sup>

**RESUMEN:** Se describe brevemente el origen del Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM (CCIQS). Se presentan principalmente las actividades científicas que se desarrollan en este centro relacionadas con la nanociencia y la nanotecnología (NyN), y a los investigadores responsables de las mismas. Además, se relata de manera sucinta la importancia de la formación de recursos humanos a través de los programas de licenciatura y posgrado de la Facultad de Química de la UAEM.

**PALABRAS CLAVE:** Nanociencia, nanotecnología, nanoquímica, licenciatura, posgrado.

**ABSTRACT:** The origin of the Sustainable Chemistry Research Joint Center UAEM-UNAM (CCIQS) is described here. The main scientific activities performed therein regarding nanoscience and nanotechnology (N&N), and the researchers involved in them, are also portrayed. In addition, there is a brief description about the relevance of human resources development, throughout the bachelor and graduate studies programs available in the School of Chemistry at UAEM.

**KEYWORDS:** Nanoscience, nanotechnology, nanochemistry, bachelor, postgraduate.

El Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM (CCIQS) se encuentra localizado en el municipio de Toluca, Estado de México (Km. 14.5 de la carretera Toluca-Atlacomulco), dentro de un complejo de centros de investigación de la Universidad Autónoma del Estado de México, conocido como El Rosedal. Nace de la conjunción de ideas entre la Facultad de Química de la UAEM y el Instituto de Química de la UNAM, para crear un espacio multidisciplinario en química que atendiera, principalmente las necesidades de investigación en el país relacionadas con la química sustentable. Estas dos instituciones han tenido una colaboración muy estrecha desde la creación de la hoy Facultad de Química de la UAEM en 1970. Así, el CCIQS se hizo realidad a través de la firma de un convenio entre la UAEM y la UNAM el 24 de mayo de 2007. De esta manera quedó plasmado en el convenio que en el CCIQS UAEM-UNAM habría:

---

Recibido: 28 de septiembre de 2016. Aceptado: 5 de octubre de 2016.

<sup>1</sup> Profesor-Investigador del CCIQS, pionero en nanoquímica en la UAEM. Correspondencia: (vsanchezm@uaemex.mx).

<sup>2</sup> Profesora-Investigadora del CCIQS. Correspondencia: (daSolisc@uaemex.mx).

<sup>3</sup> Profesor-Investigador del CCIQS y líder del Cuerpo Académico nanomateriales de la UAEM. Correspondencia: (arvilchisn@uaemex.mx).

**IMAGEN 1.** Edificio principal del CCIQS UAEM-UNAM.



Una relación donde ambas universidades comparten riesgos, afrontan problemas-retos y colaboran en actividades académicas de docencia e investigación, todo lo anterior de manera conjunta. En este modelo se concibe a la UNAM como una institución de apoyo y no de competencia con la Facultad de Química de la UAEM durante un tiempo determinado en el convenio de colaboración.

El CCIQS UAEM-UNAM fue inaugurado el día 9 de septiembre de 2008.

## Investigación y desarrollo

La investigación en NyN en la UAEM nace en la Facultad de Química, cuando en el año 2001, el Dr. Víctor Sánchez Mendieta es contratado por esta facultad como profesor de tiempo completo. Este investigador, durante su paso por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), realizó en 1994 una estancia de investigación en la Universidad de Syracuse, Estados Unidos, con el Dr. Janos Fendler, quien a la postre resultó ser uno de los investigadores pioneros más importantes en las áreas de nanopelículas y nanopartículas de oro, así como de estudios de resonancia superficial de plasmón (SPR) de nanoestructuras. Posteriormente, ya en la Facultad de Química, el Dr. Sánchez Mendieta desarrolló varios trabajos sobre la síntesis química de nanopartículas de metales, metales nobles y de nanoaleaciones, haciendo énfasis en metodologías de síntesis sencillas. Otra área de interés ha sido la formación de nanocompositos de nanopartículas metálicas (Fe,

Cu, Ag) soportadas en materiales inorgánicos (zeolitas, material carbonoso, etc.) o biológicos (fibras de seda, material celulósico, etc.), para generar materiales funcionales que pueden aplicarse, principalmente, en la degradación o remoción de contaminantes (colorantes orgánicos o metales pesados) de soluciones acuosas. Además, ha desarrollado trabajos acerca de la interacción de nanopartículas metálicas con grupos funcionales de diversos sustratos, como polímeros o celulosa, estudiados principalmente con el apoyo de la espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X. Desde la creación del CCIQS, el Dr. Sánchez Mendieta ha colaborado con los investigadores que realizan nanociencia en ese Centro. A partir de agosto de 2016, el Dr. Sánchez Mendieta, quien es nivel 2 en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), está comisionado al CCIQS.

Una de las principales líneas de investigación desarrolladas en el CCIQS tiene que ver con la biosíntesis de nanopartículas de metales nobles empleando agentes reductores biológicos, tales como el té verde, trabajo publicado en 2008 y por cual el Dr. Víctor Sánchez Mendieta y el Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor son considerados pioneros a nivel mundial en la generación de nanopartículas de metales nobles a través de agentes biorreductores.

El Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor, miembro del SNI nivel 2, realiza actualmente investigaciones sobre la síntesis de nanopartículas mono y bimetalicas asistida por métodos biológicos, empleando tanto extractos de plantas como microorganismos. Esta línea de investigación ha sido la de mayor desarrollo e impacto, tanto por el número de trabajos de investigación como por el número de citas que han generado (alrededor de 400 considerando sólo dos artículos publicados), así como por el número de alumnos graduados de posgrado y licenciatura. A la par, desarrolla materiales nanoestructurados multifuncionales para aplicaciones en sensado, biomedicina y plasmónica, con propiedades magnéticas y catalíticas, dentro de los cuales se estudian los textiles inteligentes a base de nanopartículas metálicas soportadas en materiales celulósicos. Cabe mencionar que el Dr. Vilchis Néstor es especialista en estudios de caracterización de nanoestructuras por medio de microscopía electrónica de barrido y transmisión.

La Dra. Dora Alicia Solís Casados, profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México en el CCIQS UAEM-UNAM, cuenta con perfil deseable PRODEP y es miembro del SNI nivel 2. La Dra. Solís ha trabajado en la obtención de materiales nanoestructurados con aplicaciones en catálisis heterogénea. Inició a trabajar en la obtención de  $\text{CeO}_{2-x}$  con tamaño nanométrico, usando la técnica asistida por surfactantes, donde se hizo uso de una solución micelar de un surfactante no-iónico como lo es el polímero Brij 35, los catalizadores así obtenidos fueron caracterizados por microscopía electrónica de transmisión y difracción de rayos-X con el refinamiento Rietveld para determinar el tamaño de las partículas obtenidas. En otros trabajos de investigación desarrollados por la Dra. Solís se

obtuvieron polvos nanoestructurados de  $\text{TiO}_2$  usando diferentes métodos de obtención como la precipitación homogénea clásica, la síntesis hidrotermal, la síntesis solvotérmica y el uso de diferentes agentes directores de la estructura como los conocidos polímeros Brij 35 y Pluronic 123. De la misma manera ha reportado la obtención de materiales basados en  $\text{SnO}_{2-x}$  y  $\text{TiO}_2$  modificado con diferentes metales entre los que destacan el Sn, Pd, Fe, Bi, Ni, Au, entre otros, modificaciones que han aportado un gran avance en el desarrollo de materiales nanoestructurados con menor energía de banda prohibida lo cual los hace susceptibles de aplicarse como fotocatalizadores sensibles a la luz visible. La obtención de catalizadores en forma de polvo nanoestructurado en la línea de investigación de la mencionada investigadora, le ha permitido incrementar el área superficial catalíticamente accesible en estos materiales, con lo cual se ha observado un mejor desempeño de la formulación catalítica, con una mayor actividad catalítica y en algunos casos se observó la selectividad hacia rutas de reacción predefinidas.

Dentro de las líneas de investigación que atiende el Dr. Gustavo López Téllez, investigador nivel 1 en el SNI, se han obtenido materiales compuestos a partir de cáscara de naranja y nanopartículas metálicas de oro, plata, óxidos de hierro, cobre y zinc, logrando así aprovechar un material considerado como basura (cáscara de naranja), para darle un reuso, en este caso específico, dicho material se ha utilizado como soporte de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos, el material final se ha probado satisfactoriamente para eliminar *E. Coli* de aguas contaminadas, para remover cromo hexavalente, y para degradar colorantes orgánicos de soluciones acuosas. También se ha utilizado la cáscara de naranja como un material reductor para la síntesis de las mismas nanopartículas, obteniendo distintas morfologías dependiendo del método de síntesis utilizado, la obtención de formas definidas tiene potencial en distintas aplicaciones, como el sensado de disolventes y gases, así como en propiedades ópticas. La obtención de nanopartículas por dichos métodos verdes se ha utilizado para incorporarlas a su vez en matrices poliméricas, con la peculiaridad de incorporarlas en la superficie del polímero, a diferencia de técnicas tradicionales donde las nanopartículas quedan dentro de la matriz polimérica, una investigación se centró en obtenerlas en la superficie del polímero, logrando con esto aprovechar las propiedades únicas que tienen las nanopartículas al encontrarse en la superficie, la síntesis resultó un éxito, pudiendo incorporar nanopartículas de oro, plata, y óxidos de hierro y cobre en la superficie de los polímeros del alcohol polivinílico, del metacrilato de metilo y de poliestireno. Se han estudiado también las propiedades de conductividad eléctrica que confieren las nanopartículas a los materiales poliméricos antes mencionados, y actualmente se estudian las propiedades térmicas y de memoria de forma que presentan dichos materiales poliméricos compuestos, dentro de la memoria de forma se está estudiando la respuesta a estímulos principalmente térmicos. De igual modo, se están explorando las propiedades ópticas que

presentan dichos materiales, enfocados en el efecto SERS (*surface enhanced raman spectroscopy*), la cual es un área con aplicaciones en sensado de trazas de elementos y/o moléculas de interés, tales como arsénico en agua, explosivos (para la seguridad en aeropuertos) y otras aplicaciones potenciales.

En otra línea de investigación, el Dr. López Téllez ha colaborado con distintos investigadores en diversas áreas, al realizar estudios de espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X (XPS) de zeolitas, catalizadores inorgánicos, materiales compuestos, grafeno, nanotubos de carbono, polímeros, membranas, así como estudios de la interacción de nanopartículas metálicas con diversos sustratos, los cuales han tenido repercusión en estudios relacionados con las áreas de la química orgánica, inorgánica, ciencias ambientales, ciencia de materiales, odontología, etc. Cabe mencionar que los estudios de XPS se han llevado a cabo no sólo con otros centros de investigación sino también en colaboraciones con el sector industrial.

El Dr. Oscar Olea Mejía, nivel 1 en el SNI, ha trabajado con materiales compuestos poliméricos y estudiado sus propiedades mecánicas, tribiológicas y eléctricas. Respecto a técnicas de caracterización, tiene experiencia en microscopía electrónica tanto de barrido como de transmisión así como en espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X. Ha empleado dichas técnicas para estudiar diversos materiales, como películas delgadas de semiconductores, materiales compuestos naturales, dientes humanos, etc. Hoy en día trabaja en la generación de nanopartículas metálicas por métodos físicos como la ablación láser y el plasma pulsado en medio líquido. Dichas técnicas se pueden considerar como “verdes” ya que no hay generación de subproductos peligrosos además de llevarse a cabo a condiciones ambientales. Dichas nanopartículas han sido utilizadas para distintas aplicaciones entre las que destacan aplicaciones médicas donde ha creado junto con su grupo de trabajo materiales compuestos capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos. Dichos materiales también se han utilizado en la industria automotriz. Otra área de gran interés es el cuidado del medio ambiente. En este respecto, el Dr. Olea ha trabajado con nanopartículas principalmente de hierro y cobre para la remediación de aguas contaminadas, eliminando metales pesados y contaminantes orgánicos por métodos de oxidación avanzada y adsorción utilizando biomateriales como la cáscara de naranja. También ha utilizado nanopartículas de metales nobles para detectar niveles de trazas contaminantes orgánicos con ayuda de la espectroscopía Raman donde se han podido detectar concentraciones de contaminantes del orden de  $1 \times 10^{-10}$  M.

El Dr. Raúl Alberto Morales Luckie, nivel 1 en el SNI, desarrolla las líneas de investigación de: biosíntesis de nanopartículas metálicas sobre sustratos poliméricos renovables y desarrollo de métodos químicos sintéticos sencillos para la obtención de bionanocompositos con aplicaciones catalíticas. El desarrollo de métodos químicos sintéticos sencillos para la obtención

de nanoestructuras soportadas sobre materiales existentes dando preferencia a sustratos renovables, con especial orientación a celulósicos, los cuales tengan una potencial aplicación a corto plazo. En este sentido, se han decorado fibras de materiales celulósicos y proteínicos, como la seda, con nanopartículas de plata, dando origen a lo que denominamos fibras inteligentes ya que se logra hacer una sinergia entre los componentes que generan el biocomposito. Un ejemplo es el hilo de sutura que se generó al utilizar fibras que cumplan con las propiedades físicas de dicho hilo, al incorporarle las nanopartículas de plata, por lo cual se obtiene la protección antibacterial de amplio espectro proporcionado por estas nanopartículas. Además, la bioreducción se realiza con un agente con propiedades antiinflamatorias y un posterior tratamiento con otro agente con propiedades cicatrizantes. Como se puede observar, el desarrollo de estos métodos sintéticos está basado en seguir el mayor número de principios de la química verde, y lograrlo de una manera económica, pues al utilizar agua como solvente, a presión atmosférica y a temperatura ambiente se logra obtener un método accesible. Respecto de las aplicaciones catalíticas se han desarrollado sistemas de nanopartículas de platino sobre hueso para utilizarlos en hidrogenación selectiva, hierro-cobre para la eliminación de colorantes y herbicidas.

Aunado a las actividades de investigación antes mencionadas, se cuenta con el Cuerpo Académico (CA) en consolidación denominado “Nanomateriales” (Clave UAEM-CA-154), conformado por un grupo de seis profesores-investigadores de la Facultad de Química de la UAEM, cinco de los cuales están comisionados al CCIQS; además de estar adscritos al Programa de Maestría y Doctorado en Ciencia de Materiales de la UAEM, participan activamente en las 5 licenciaturas que se imparten en la Facultad de Química de la UAEM. Este CA promueve entre sus miembros una constante actualización docente y de investigación, generación de conocimiento, formación de recursos humanos, movilidad nacional e internacional y la búsqueda permanente de financiamiento para proyectos de investigación. Todo esto se ve reflejado en una estrecha colaboración entre sus miembros y con grupos de investigación nacionales y extranjeros, teniendo como objetivo principal ser un grupo de investigación líder en Ny N a nivel nacional e internacional.

La línea de investigación del CA Nanomateriales contempla el desarrollo de métodos físicos, químicos y biológicos para la obtención de materiales nanoestructurados y la evaluación potencial de sus propiedades catalíticas, optoelectrónicas y magnéticas. Entre los principales logros de este cuerpo académico está la publicación en el año 2013 del libro: *Nanoestructuras metálicas: síntesis, caracterización y aplicaciones* (ISBN: 978-84-291-7972-9), el cual fue editado en España por editorial Reverté.

## Formación de recursos humanos

Uno de los principales objetivos del CCIQS UAEM-UNAM es la labor de formación de recursos humanos de alto nivel en las diferentes áreas de la química. Todos los profesores-investigadores que realizan investigación en nanociencia y nanotecnología imparten cátedra en alguno de los cinco programas de licenciatura que existen en la Facultad de Química de la UAEM: químico, químico farmacéutico biólogo, químico en alimentos, ingeniero químico e ingeniero petroquímico. Es por ello que dirigen proyectos de corto plazo para alumnos de licenciatura de estos programas que buscan obtener su título correspondiente. De igual manera, estos investigadores colaboran estrechamente con alumnos de maestría y doctorado en la consecución de su grado correspondiente, principalmente en los programas de Ciencia de Materiales, Ciencias Químicas y Ciencias Ambientales de la Facultad de Química de la UAEM, todos ellos programas de calidad de CONACyT.

A la fecha, el CCIQS UAEM-UNAM cuenta con aproximadamente 210 alumnos realizando algún tipo de tesis de licenciatura o posgrado; son aproximadamente 45 los que están dedicados a investigaciones sobre NyN.

## Infraestructura

El CCIQS UAEM-UNAM cuenta con los siguientes equipos y técnicas analíticas, que apoyan las investigaciones en nanociencia y nanotecnología:

- Espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X.
- Microscopía electrónica de barrido acoplado a detector EDS.
- Microscopía electrónica de transmisión. Con detector de EDS, y con detectores STEM-BF y STEM-ADF.
- Microscopía de fuerza atómica.
- Microscopía confocal.
- Calorimetría: DSC (calorimetría diferencial de barrido) y TGA (análisis termo gravimétrico).
- Resonancia magnética nuclear (H, C, F, P) y bidimensionales.
- Análisis elemental por plasma inductivamente acoplado a espectroscopía de masas.
- Difracción de rayos-X de polvos.
- Difracción de rayos-X de monocristal
- Espectrometría de masa
- Espectroscopía de infrarrojo.
- Espectroscopía Raman.
- Analizador automatizado de adsorción de gases.

**FIGURA 1.** Microscopio electrónico de barrido – Espectroscopía por dispersión de energía de rayos-X para análisis elemental y mapeo químico.



**Características:** JEOL JSM-6510LV; voltaje de aceleración de 1 a 30 kV, filamento de tungsteno, cuenta con detectores de electrones secundarios y retrodispersos, en modalidad de alto vacío; en modalidad de bajo vacío, cuenta con detector de electrones retrodispersos, resolución máxima de 5nm en modalidad de alto vacío y con electrones secundarios. Alcanza magnificaciones de 30x a 300,000x acoplado a detector de rayos-X, para hacer análisis químico por medio de dispersión de energía (EDS) marca OXFORD, con resolución de 137 eV. Para la preparación de muestras se cuenta con una cámara de *sputtering* marca DENTON Desk IV para recubrir con oro, platino o grafito, posee un sistema de vacío con aire de 30 a 1000 mtorr, con capacidad para 8 muestras.

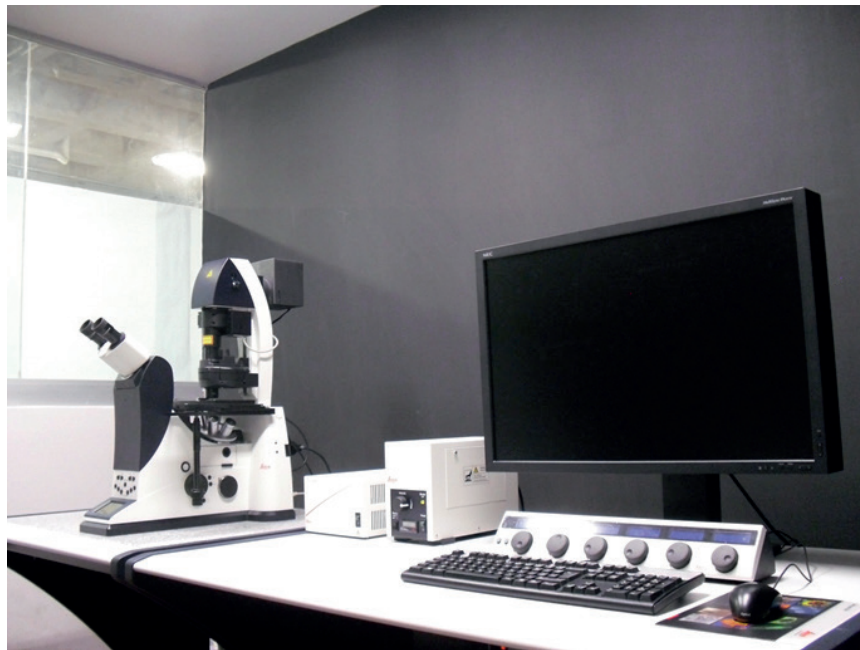


**FIGURA 2.** Microscopio electrónico de transmisión con detector Noran para análisis elemental mediante EDS, y dos detectores STEM para campo claro (STEM-BF) y anular de campo oscuro (STEM-ADF).



**Características:** JEOL-2100 de 200 kV con filamento de LaB6. Con una resolución de 0.23 nm punto a punto y 0.14 nm línea a línea. Alcanza magnificaciones de 2000x a 1.5 Mx, en modo normal, y de 50x a 6000x, en modo de baja magnificación. La adquisición de las micrografías se lleva a cabo de manera digital a través de una cámara CCD de Gatan, modelo SC200. Se tiene acoplado un detector de rayos-X para análisis por dispersión de energía (EDS) marca NORAN. Está también equipado con dos detectores para STEM, de campo claro (BF-detector) y anular de campo oscuro (ADF-detector). Es posible también realizar difracción de electrones de área selecta.

**FIGURA 3.** Sistema confocal espectral, modelo TCS SPE dmi 4000, Marca Leica.



**Características:** El microscopio confocal LEICA TCS SPE cuenta con 8 canales secuenciales, 4 láseres de estado sólido que cubren todo el rango de longitud de onda, con emisiones en: 405 nm (violeta), 488 nm (azul), 532 nm (verde) y 635 nm (rojo). Las fuentes de excitación láser tienen nuevos lentes de corrección para el desfaseamiento del haz láser; y un escáner totalmente automatizado, con prismas para la detección espectral, con obturador de alta velocidad para el cambio de excitación de manera automática con IFW y el sistema de iluminación EL6000, cuya lámpara tiene un tiempo de vida de 2000 h. El control de láser es totalmente automatizado (AOTF), con lo cual se regula la intensidad del láser ajustando de 0 a 100% dando una óptima iluminación, para la preservación de la muestra disminuyendo el blanqueamiento, no tiene partes móviles, lo que nos da un resultado con mayor rapidez y precisión. Pieza Z-Galvo de alta precisión en Z, funciona con todos los objetivos, la plataforma modular con interfaces predeterminadas, el diámetro de campo de los oculares es de 10x/25mm.

FIGURA 4. Espectrómetro fotoelectrónico de rayos X.



**Características:** Marca JEOL JPS-9200, fuente dual de magnesio y aluminio para modalidad estándar, en modalidad monocromática opera con fuente de aluminio y un cristal de cuarzo. Potencia máxima de 500 watts con la fuente de magnesio y de 600 watts con la de aluminio. Equipado con pistola de iones argón para *etching* y *depth profile*. Áreas de análisis de 1 mm, 0.2mm y 0.03 mm. Resolución de 0.75 eV (fuente de magnesio) 0.85 eV (fuente de aluminio) y 0.45 eV (fuente monocromática). Rango de medición de energía de enlace (*binding energy*) de 0 a 1480 eV. Cuenta también con cañón de electrones para neutralizar la carga superficial en muestras aislantes.

## Sitios de interés relacionados con el CCIQS UAEM-UNAM

- <<http://www.cciqs.uaemex.mx/>>.
- <<http://web.uaemex.mx/fquimica/>>.
- <<http://www.iquimica.unam.mx/>>.