



Desarrollo de la Investigación Sobre Nanotecnología en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA-CONACYT)

¹Oliverio Rodríguez-Fernández

¹Director General del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25294.

Resumen

CIQA está realizado trabajos de investigación y desarrollo sobre NT desde hace más de una década. En este centro se está desarrollando películas protectoras de rayos ultravioleta (UV) con aplicación a invernaderos. Han sido desarrollados también materiales novedosos para la elaboración de fibras nanoestructuradas inteligentes, los cuales tienen diferentes aplicaciones industriales principalmente en la industria textil. El Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos recientemente creado para la manufactura de grafeno y sus derivados; es una unidad especializada para la adecuación y/o desarrollo de procedimientos de manufactura de materiales grafénicos, así como de algunos de los nanocomponentes o dispositivos finales de utilización. Se ha venido posicionado con liderazgo nacional en agronanotecnología desarrollando y valorando nanopartículas con aplicaciones en diversos cultivos en agricultura protegida.

Palabras clave: Nanotecnología, nanopartículas, grafenos, conocimiento.

Introducción

La Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACYT en México, ha señalado que en este siglo está teniendo lugar una revolución científica y tecnológica, sustentada en la capacidad de medir, manipular y organizar la materia a escala nanométrica,





esto es, entre 1 y 100 nanómetros (10⁻⁹ metros). En la investigación realizada a esta escala convergen los principios teóricos y técnicas experimentales de la física, la química, la biología, la ciencia de materiales, los modelos computacionales de simulación y la ingeniería, que integrados dan lugar a las Nanociencias y la Nanotecnología (NT). La investigación nanotecnológica puede aportar a nuestro país la innovación tan necesaria para generar empresas de alta tecnología que incrementen la competitividad del país y produzcan empleos bien remunerados.

Desde que se elaboró el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, se consideró a la NT como sector estratégico y como una tecnología precursora, debido a que tienen una fuerte incidencia sobre el desarrollo de muchas actividades productivas, y porque se prevé que en el futuro su utilización será determinante para el desarrollo de muchas ramas de los sectores agropecuario, industrial y de servicios; y por lo tanto para la productividad y competitividad del país.

En México el proceso de investigación en el campo de la NT ha iniciado. Desde el siglo pasado, diversas economías latinoamericanas se abrieron a la experimentación, innovación, desarrollo, capacitación y formación de recursos humanos y en general, a mantenerse a la cabeza del resto de naciones, guardadas todas proporciones. Es un hecho que la nanociencia está llamada a convertirse en un nuevo paradigma en el conocimiento humano. El despegue mostrado coincide con la tesis de que el nuevo milenio será testigo de las olas de innovación desde los así-llamados-países emergentes.

La NT en el nuevo milenio promete ser la cuarta revolución industrial (Maynard et al., 2015), de manera que aquellos países que no logren incorporarse podrían quedar fuera de la nueva redistribución industrial resultante de la competencia. Además, la economía mundial, basada cada vez más en el conocimiento y en la innovación tecnológica, coloca en desventaja a aquellos países que no invierten en educación y conocimiento. En este contexto la nanotecnología aparece como una obligación, en lugar de una opción, y México ha comprado esa receta de desarrollo (Zayago-Lau y Foladori, 2010).





Nanotecnología en la elaboración de películas plásticas para invernadero

Considerando lo antes señalado, el CIQA ha venido realizando trabajos de investigación y desarrollo sobre NT desde hace más de una década. Por eso con el propósito de crear películas protectoras de rayos ultravioleta (UV) con aplicación a invernaderos, científicos del CIQA realizaron un proyecto en el que emplearon nanopartículas (NPs) cerámicas como principio activo.

Se sabe que estas NPs, específicamente de óxido de zinc (ZnO), son ampliamente utilizadas como protectores UV en cremas y productos de cosmetología, entre otras aplicaciones; cuando se emplean como componente de la formulación de películas para invernadero, actúan como protectores de rayos ultravioleta que evitan la degradación de los polímeros y extienden el tiempo de vida útil de las películas. En el CIQA se investigaron las condiciones experimentales bajo las cuales se incrementa la protección UV sin que por ello decaigan las propiedades mecánicas de las películas plásticas, tales como elongación (alargamiento que sufre un cuerpo al someterse a esfuerzo de tracción), tensión, rasgado y resistencia al impacto por caída de dardo (objetos), entre otras.

Todas las cubiertas fueron analizadas por microscopía (técnica de producir imágenes visibles de estructuras o detalles demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista), con el fin de evaluar la distribución y dispersión de las NPs en los materiales. En esta tónica, el equipo de trabajo del CIQA evaluó las propiedades ópticas de las películas, tales como bloqueo a la radiación UV, infrarrojos lejano y cercano, porcentaje de luz fotosintéticamente activa y radiación difusa. Según los resultados obtenidos, pueden elaborarse diferentes formulaciones en las cuales la protección UV puede ser igual o superior al 85 % con tiempos de duración a la intemperie de aproximadamente dos años, sin pérdida en las propiedades mecánicas.

Las mejores formulaciones fueron evaluadas en microtúneles (técnica de cultivo en la que se emplean láminas de plástico y arcos de hierro para proteger a las plantas) y con la producción de una hortaliza de estación. En estas pruebas se detectó que las películas





formuladas con nanopartículas presentaron un mejor desarrollo del cultivo, razón por la cual, dado que la investigación se encuentra aún en curso, serán evaluadas posteriormente en invernaderos. En esta investigación, el CIQA, institución que forma parte del Sistema de Centros Públicos de Investigación CONACYT, colabora con empresas nacionales productoras de NPs para ampliar el espectro de su aplicación.

Nanotecnología y polímeros para desarrollar textiles inteligentes

En CIQA, han sido desarrollados también materiales novedosos para la elaboración de fibras nanoestructuradas inteligentes, los cuales tienen diferentes aplicaciones industriales y destacando la industria textil.

Esta industria constituye el primer sector económico en muchos países. Aun cuando el uso de textiles se remonta a muchos siglos anteriores, la fabricación industrial con fibras naturales inició apenas en el siglo XX. Posteriormente, con la obtención de polímeros sintéticos se comenzaron a industrializar las fibras sintéticas, las cuales tienen larga duración y resistencia a diferentes agentes; son de fácil cuidado, y se limpian con facilidad. Sin embargo, pueden provocar alergias en la piel. Las fibras más comunes están elaboradas con base de poliamida (nylon), poliéster, acrílico, acetato, polietileno, polipropileno y poliuretano.

La NT es una ciencia de gran importancia en el sector textil, ya que mediante la incorporación de NP, es posible evitar la formación de bacterias, obtener superficies auto-lavables y autoeliminar olores (Lorenz et al., 2012). Incluso, las NP son capaces de acumular energía que puede ser utilizada para cargar algún aparato electrónico. De esta manera, es posible por ejemplo, fabricar una prenda de vestir utilizando textiles inteligentes, con la capacidad de captar y almacenar energía solar de tal forma que sea posible contar con energía eléctrica en cualquier lugar.





La industria textil abarca desde la obtención de fibras hasta la fabricación de prendas con características específicas, pasando por el hilado, tejido, tintado, entre otros procesos. Lo más común de esta industria es obtener una simple tela para vestir o mitigar el calor o frío. Sin embargo, ha surgido la necesidad de implementar nuevas tecnologías y desarrollos en los que la nanotecnología y biotecnología se fusionan para elaborar prototipos de telas en cuyas fibras se incorporan NPs de plata (Geranio et al., 2009) así como biosensores, y que adicional puedan medir y mostrar parámetros fisiológicos como el pulso cardíaco, presión arterial, etc., apoyando así al sector salud.

Los tejidos con propiedades antimicrobianas son el desarrollo más destacado que se conoce hoy en día en la industria textil. Al incorporar nanopartículas de plata en las fibras nanoestructuradas (Figura 1), es factible eliminar la posibilidad de desarrollar microorganismos patógenos. Sus principales aplicaciones son en calcetines que favorecen la cicatrización de la piel, ropa interior biocida y antiolor, entre otras.

La acumulación de carga estática, existiendo un bajo nivel de humedad como condición principal, es una situación muy común de la vida diaria, por ejemplo, al caminar en pisos alfombrados, al pasar mucho tiempo sentado en un sofá, durante el cepillado del cabello seco, etc.; en estos casos, al hacer contacto con un conductor eléctrico la carga se transfiere en forma de una "chispa" provocando una sensación incómoda. Este inconveniente puede resolverse con la adición de agentes antiestáticos en las fibras empleadas en la elaboración de alfombras, en la tapicería de muebles del hogar, en la fabricación de prendas de vestir, etc. Desde el punto de vista industrial existe una gran variedad de motivos y aplicaciones por los que es también es deseable usar trajes antiestáticos, tal es el caso, por ejemplo, durante el pintado de automóviles.







Figura 1. Fibras nanoestructuradas desarrolladas por CIQA, las cuales pueden tener potencialmente múltiples aplicaciones.

Por otra parte, cada vez son más frecuentes los casos de cáncer en la piel por la exposición a la radiación ultravioleta (UV)₄. Una forma de reducir este padecimiento es a través de la incorporación de bloqueadores UV en las fibras y con ellas elaborar prendas de uso cotidiano.

Sin embargo, lograr que las nanopartículas le confieran a las fibras las excepcionales propiedades que poseen no es una tarea sencilla. Por ello se han implementado diferentes alternativas que permitan una adecuada dispersión de las nanopartículas dentro del polímero para que, al final, se utilice la mínima cantidad de éstas y se maximice el efecto que se pretende lograr en los denominados "textiles inteligentes" (Coyle et al., 2007).

En los Departamentos de Materiales Avanzados y de Procesos de Transformación de Plásticos del CIQA, se desarrollan materiales novedosos para la elaboración de fibras inteligentes nanoestructuradas para diferentes aplicaciones industriales. Más aún, a través del Programa de Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica del CONACYT, se adquirió una Línea Combinada de Extrusión de Filamentos (LCEF) donde se obtienen fibras multifilamento extruidas o co-extruidas y tela no tejida de





polímeros a nivel de planta piloto (Figura 2) con los materiales nanoestructurados desarrollados.



Figura 2. Línea Combinada de Extrusión de Filamentos (LCEF) donde se obtienen fibras multifilamento extruidas o co-extruidas y tela no tejida de polímeros a nivel de planta piloto.

Mediante los procesos de hilado y soplado en fundido (Figura 3), se pueden obtener telas no tejidas y fibras para la fabricación de telas, con propiedades antimicrobianas, luminiscentes, antiestáticas, etc. Con estos nuevos materiales en forma de fibra y tela no tejida, CIQA pretende abordar a los sectores automotrices, salud, seguridad, energía, aeroespacial y ofrecer soluciones de vanguardia para la industria textil.



Figura 3. Procesos de hilado y soplado en fundido se pueden obtener telas no tejidas y fibras para la fabricación de telas.





Nanomateriales para la ciencia médica

El desarrollo vertiginoso de los nanomateriales ha incidido sobre innumerables aplicaciones, en donde el CIQA, a través de diversas líneas de investigación ha tenido la oportunidad de aportar conocimiento de vanguardia, innovando técnicas, así como desarrollando productos y procesos. Las aplicaciones en la ciencia médica forman parte de esta revolución en torno a los nanomateriales. Actualmente, se trabaja en la creación de nanomateriales biocompatibles para su empleo en prótesis e implantes para cadera y rodilla principalmente, además de implantes dentales, así como en el desarrollo de nanobiosensores, nanodispositivos y nanomateriales para la liberación controlada de fármacos.

En este sentido, se han obtenido logros importantes que permiten vislumbrar una alternativa eficiente en el tratamiento por ejemplo, de algunos tipos de cáncer al preparar nanocápsulas poliméricas de materiales biocompatibles que en su interior contengan el fármaco que será liberado al llegar al sitio específico de acción en las condiciones experimentales (pH, temperatura, grupos reactivos, etc.) necesarias. De la misma forma, algunas NPs, como es el caso de la Plata, han encontrado aplicación médica relevante debido a sus propiedades antimicrobianas, tal es el caso del desarrollo del parche para pie diabético, llevado a cabo por investigadores del Centro.

Un reciente trabajo de Saade et al. (2016) orientado al campo de la medicina, señala que el ibuprofeno (IB) cargado con partículas poliméricas de 9.2 nm de diámetro y dispersado en un medio acuoso se considera seguro para el consumo humano y se utiliza en la fabricación de las píldoras cargadas con micro y nanopartículas de este fármaco. La eficiencia de carga fue de 100 %, alcanzando alrededor de 10 a 12 % en contenido de ibuprofeno. Estudios de liberación mostraron que el fármaco se libera de las NPs a una velocidad más lenta que en el caso del IB libre. Dado su tamaño, así como los valores de pH requeridos para su disolución, se cree que este tipo de partículas podría ser utilizado como una base para la preparación de nanosistemas cargados con una variedad de drogas medicinales.





Respecto de investigación en el CIQA sobre microbios nosocomiales de gran efecto infeccioso en humanos y animales, el trabajo de Betancourt et., (2012), señala que NPs de plata de superficie modificada (NAG) se encapsularon en una matriz de poliestireno (PS) por en miniemulsión polimerización. Las NPsAg sintetizadas mediante polimerización en miniemulsión mostraron un excelente efecto antimicrobial in vitro contra las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*.

Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos (LNMG) del CIQA

Los objetivos del LNMG recientemente creado son los siguientes: Desarrollar propiedad intelectual mexicana y establecerse entre los líderes internacionales de desarrollo de procesos industriales para la manufactura de grafeno y sus derivados; distinguirse como un actor global en el diseño de procesos de manufactura de materiales avanzados y dispositivos basados en el uso de materias primas de carbono zero, uni, bi-y tridimensional.

Este laboratorio es una unidad especializada del CIQA para la adecuación y/o desarrollo de procedimientos de manufactura de materiales grafénicos, así como de algunos de los nanocomponentes o dispositivos finales de utilización. Este Laboratorio cuenta con infraestructura especializada y con capacidades de servicio técnico, académico y de investigación que cumple con estándares de calidad internacional.

Investigación sobre agronanotecnología

En el CIQA también se está abordando el tema de la agronanotecnología, la cual se puede definir como la ciencia de manipular NPs y nanoelementos para producir insumos agrícolas, destacando principalmente la fabricación de nanosensores; elaboración de nanoplaguicidas encapsulados para su liberación controlada; además, se pueden formular nanofertilizantes y nanoherbicidas, para hacer más eficiente el uso y aplicaciones de los





agroquímicos, pudiendo así coadyuvar en la solución de problemas de contaminación ambiental y en mejorar los procesos productivos de manera sustentable en el campo.

El reciente trabajo de Méndez-Argüello (2016), señala que diversas partículas metálicas como el Zn, Cu y Fe, pueden actuar como promotores del crecimiento de las plantas de pimiento. Debido a eso los nanofertilizantes son uno de los productos potenciales que podría ser una innovación importante para la agricultura; la gran área de superficie de las NPs y pequeño tamaño de los nanomateriales permiten la interacción mejorada y la absorción eficiente de los nutrientes por hojas y raíces para la fertilización de cultivos. La inversión de los EE.UU. mediante el Departamento de Agricultura en la National Nanotechnology Initiative de investigación aumentó su presupuesto de \$ 0 dólares en 2001 a más de \$ 11 millones de dólares en 2013, esto claramente indica del papel creciente que la NT puede desempeñar en la agricultura.

Se estima que en la actualidad en todo el mundo hay más de 300 nanoproductos alimenticios disponibles en el mercado y se prevé que para el 2015 la NT se utilizará en el 40% de las industrias alimentarias. Las NPs son de gran relevancia en la investigación científica debido a que tienen una amplia variedad de aplicaciones potenciales en los campos biomédico, biológico, óptico y electrónico, entre otros.

El uso principal de las NPs en la industria en la agricultura e industria alimentaria se debe a su actividad antimicrobial. Por ejemplo, el cobre y óxido de zinc tienen una fuerte actividad antifúngica y antibacterial. Por su parte, las NPs de plata son utilizadas como agentes antimicrobianos en los paneles de los refrigeradores y frigoríficos, así como en los recipientes de almacenamiento, líneas de envasado y otras superficies destinadas a entrar en contacto con los alimentos.

¿Qué está haciendo el CIQA respecto a la Agronanotecnología?

• Un enfoque de la investigación en el CIQA está orientada al análisis del efecto antifúngico y antibacterial de nanopartículas metálicas y derivadas del carbón contra microorganismos causantes de graves enfermedades en cultivos agrícolas.





- Otros trabajos experimentales se encaminan hacia el estudio de las nanopartículas híbridas y puras, como promotores de la germinación y crecimiento de las plantas, con el potencial para desarrollar nanofertilizantes con base en micronutrientes como cobre, fierro y zinc.
- Estamos investigando el potencial que puede tener un mineral como la zeolita, para emplearlo como nanoacarreador, con la finalidad de mejorar la eficiencia de agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas, con la finalidad de reducir la cantidad de aplicaciones necesarias y provocar un menor impacto ambiental en los agroecosistemas.
- Un enfoque más es el estudio del efecto fitotóxico de altas dosis de nanopartículas, con el objetivo de determinar los umbrales que no causen fitotoxicidad en las plantas, ni en el ambiente.

Conclusiones

La investigación sobre nanotecnología en México se inserta en el proceso de transición hacia la economía del conocimiento, como lo muestran los procedimientos y planeación de la política pública en la materia. Este objetivo lo promueven organismos internacionales con la finalidad de impulsar el desarrollo. De acuerdo con organizaciones como el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la NT se posiciona como el detonador más importante en el proceso de transformación productiva de las economías emergentes y en vías de desarrollo.

Sabemos que en México el tema de investigación en agronanotecnología es muy reciente e innovador, razón por la cual el CIQA se ha venido posicionado con liderazgo nacional en este tema, es que contamos con un grupo de colaboradores que tiene una diversidad de disciplinas y formación académica, que en lugar de competir entre sí se complementan. Por ejemplo, tenemos agrónomos, biólogos, bioquímicos, biotecnológos, ingenieros químicos, químicos poliméricos, físicos, ingenieros en materiales avanzados, etc.





Esto sin duda que nos enriquece y permite transformar el conocimiento dándole un valor agregado a conocimientos aislados que se generan.

Respecto de la agronanotecnología, los avances de investigación señalan que NPs metálicas como cobre, óxido de zinc y fierro, cuando se aplican a bajas concentraciones (con 50 ppm o menos), pueden incrementar el porcentaje de germinación de semillas; aumentar su vigor y promover un mayor crecimiento de diversas familias de plantas como solanáceas (tomate y chile) y cucurbitáceas (pepino y melón). También se ha comprobado que altas concentraciones por arriba de 100 ppm causan en la mayoría de los caso efectos fitotóxicos en plántulas.

Literatura Citada

- Betancourt-Galindo, R., Cabrera-Miranda, C., Puente-Urbina, B.A., Castañeda-Facio, A., Sánchez-Valdés, S., Mata-Padilla, J. y Rodríguez-Fernández, O.S. (2012). Encapsulation of silver nanoparticles in a polystyrene matrix by miniemulsion polymerization and its antimicrobial activity. ISRN Nanotechnology.
- Coyle, S., Wu, Y., Lau, K. T., De Rossi, D., Wallace, G., & Diamond, D. (2007). Smart nanotextiles: a review of materials and applications. Mrs Bulletin, 32(05), 434-442.
- Geranio, L., Heuberger, M., & Nowack, B. (2009). The behavior of silver nanotextiles during washing. Environmental Science & Technology, 43(21), 8113-8118.
- Lorenz, C., Windler, L., Von Goetz, N., Lehmann, R. P., Schuppler, M., Hungerbühler, K. y Nowack, B. (2012). Characterization of silver release from commercially available functional (nano) textiles. Chemosphere, 89(7), 817-824.
- Maynard, A.D. (2015). Navigating the fourth industrial revolution. Nature nanotechnology, 10(12), 1005-1006.
- Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., Mendoza-Mendoza, E., García-Cerda, L.A., Puente-Urbina B.A. y Lira-Saldivar, R.H. (2016). Promoción del crecimiento en plantas de Capsicum annum por nanopartículas de óxido de zinc. Nova Scientia, 8(2): 140-156.





- Saade, H., Diaz de León-Gómez, R., Enríquez-Medrano, F.J. y López, R.G. (2016). Preparation of ultrafine poly (methyl methacrylate-co-methacrylic acid) biodegradable nanoparticles loaded with ibuprofen. Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, (just-accepted), 1-28.
- Zayago-Lau, E. y Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: un desarrollo incierto. Econ. Soc. Territ [online]., vol.10, n.32 [citado 2016-09-10], pp.143-178. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?.