

La nanociencia y la nanotecnología:

Herramientas para medir lo diminuto

pág. 15

 **ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS**
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Imagen del Microscopio
Electrónico de Barrido de
la Unidad de Microscopía
Electrónica del Colegio de
Postgraduados.

Año 6 • VOLUMEN 6 • NÚMERO 4 • JULIO-AGOSTO, 2013

Nanotecnología agrícola: Caso 1. Liberadores de feromonas, Caso 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas	3
David contra Goliat: La nanotecnología en la limpieza del ambiente	9
Micro y nano encapsulación para la liberación controlada de compuestos en la producción pecuaria: Caso selenio	24
Relatoría: Las energías renovables en el sector agropecuario	31
Cambio climático: La contribución de las nanociencias y la nanotecnología	40
Importancia de la nanotecnología en los alimentos cárnicos	47
La nanotecnología médica	53
El riego: Factor clave para evitar la erosión	59

Guía para autores

Estructura

Agroproductividad es una revista de divulgación, auspiciada por el Colegio de Postgraduados para entregar los resultados obtenidos por los investigadores en ciencias agrícolas y afines a los técnicos y productores. En ella se podrá publicar información relevante al desarrollo agrícola en los formatos de artículo, nota o ensayo. Las contribuciones serán arbitradas y la publicación final se hará en idioma español.

La contribución tendrá una extensión máxima de 16 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. Deberá estar escrita en Word a doble espacio empleando el tipo Arial a 12 puntos y márgenes de 2.5 cm. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos.

Las ilustraciones serán de calidad suficiente para su impresión en offset a colores, y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y el tamaño, dependiendo de la imagen y su importancia de acuerdo con la tabla comparativa.

La estructura de la contribución será la siguiente:

1) Artículos: una estructura clásica definida por los capítulos: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones y Literatura Citada; 2) Notas o Ensayos: deben tener una secuencia lógica de las ideas, exponiendo claramente las técnicas o metodologías que se transmiten en lenguaje llano, con un uso mínimo de términos técnicos especializados.

Formato

Título. Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en itálicas.

Autor o Autores. Se escribirán él o los nombres completos, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Al pie de la primera página se indicará el nombre de la institución a la que pertenece el autor y la dirección oficial, incluyendo el correo electrónico.

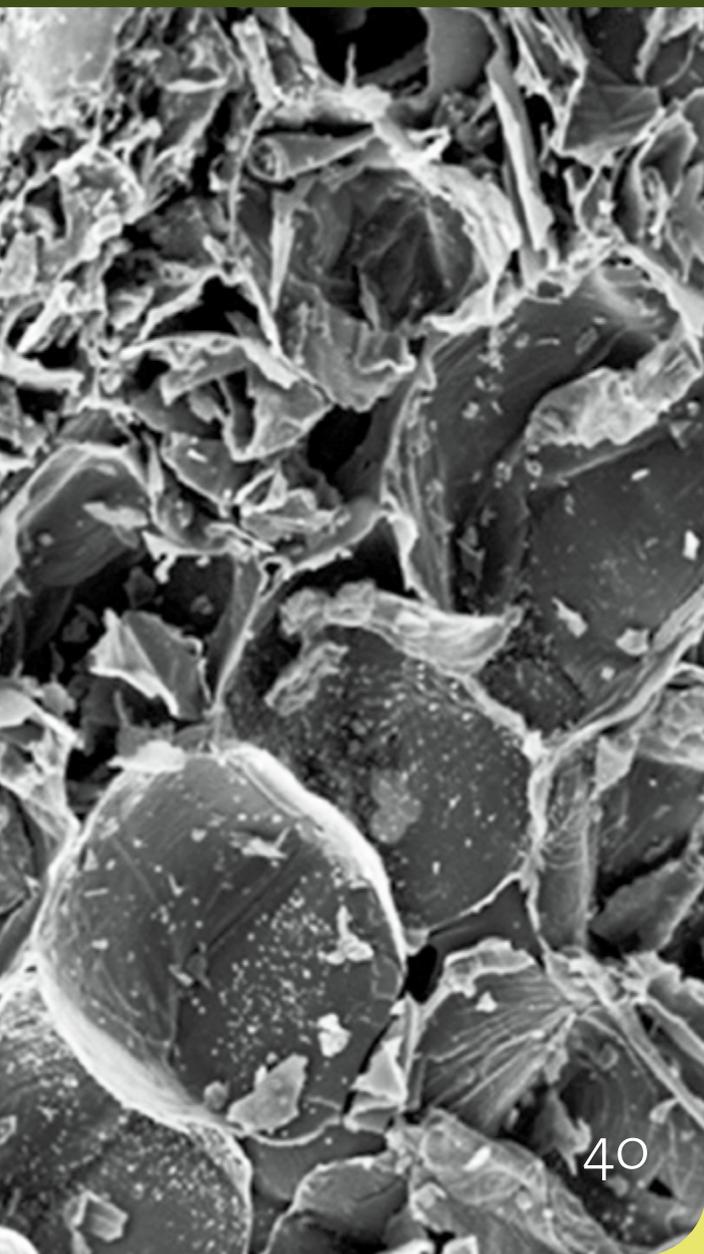
Cuadros. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro.

Figuras. Corresponden a dibujos, gráficas, diagramas y fotografías. Las fotografías deben ser de preferencia a colores. Se debe proporcionar originales en tamaño postal, anotando al reverso con un lápiz suave el número y el lugar que le corresponda en el texto. Los títulos de las fotografías deben mecanografiarse en hoja aparte. La calidad de las imágenes digitales debe ceñirse a lo indicado en la tabla comparativa.

Unidades. Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

Tabla comparativa.

Centímetros	Píxeles	Pulgadas
21.59×27.94	2550×3300	8.5×11
18.5×11.5	2185×1358	7.3×4.5
18.5×5.55	2158×656	7.3×2.2
12.2×11.5	1441×1358	4.8×4.5
12.2×5.55	1441×656	4.8×2.2
5.85×5.55	691×656	2.3×2.2
9×11.5	1063×1358	3.5×4.5
9×5.55	1063×656	3.5×2.2



Contenido

3	Nanotecnología agrícola: Caso 1. Liberadores de feromonas, Caso 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas
9	David contra Goliath: La nanotecnología en la limpieza del ambiente
15	La nanociencia y la nanotecnología: Herramientas para medir lo diminuto
24	Micro y nano encapsulación para la liberación controlada de compuestos en la producción pecuaria: Caso selenio
31	Relatoría: Las energías renovables en el sector agropecuario
40	Cambio climático: La contribución de las nanociencias y la nanotecnología
47	Importancia de la nanotecnología en los alimentos cárnicos
53	La nanotecnología médica
59	El riego: Factor clave para evitar la erosión
64	Noticias
65	bba BIBLIOTECA BÁSICA DE AGRICULTURA



Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Alejandro Rojas Sánchez

Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:

Guerrero 9, esq. Avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

Teléfono: 01 (595) 928 4013 | jocadena@colpos.mx; jocadena@gmail.com

Impresión 3000 ejemplares.

©Agroproductividad, publicación respaldada por el Colegio de Postgraduados. Derechos Reservados. Certificado de Licitud de Título Núm. 0000. Licitud de Contenido 0000 y Reserva de Derechos Exclusivos del Título Núm. 0000. Editorial del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Núm. 036.

Impreso en México — Printed in México
PRINTING ARTS MEXICO, S. de R. L. de C. V.
Calle 14 no. 2430, Zona Industrial
Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44940
Fax: 3810 5567
www.tegrafik.com
RFC: PAM991118 DGO

Directorio

Said Infante Gil

Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro†

Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez

Director de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

Colegio de Postgraduados—Montecillo

Fernando Clemente S.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Fauna Silvestre

Ma. de Lourdes de la Isla

Dr. Ing. Agr. Catedrática Aereopolución

Ángel Lagunes T.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Entomología

Enrique Palacios V.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Hidrociencias

Jorge Rodríguez A.

Dr. Ing. Agr. Catedrático Fruticultura

Colegio de Postgraduados—Puebla

Manuel R. Villa Issa

Dr. Ing. Agr. Economía Agrícola

Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Pedro Cadena I.

Dr. Ing. Agr. Transferencia de Tecnología

Ricardo Magaña Figueroa

M. C. P. Director de Promoción y Divulgación

Confederación Nacional Campesina

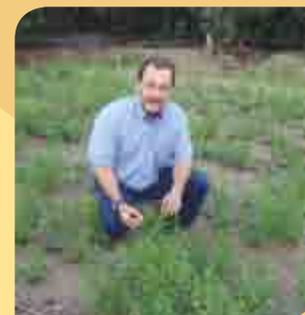
Jesús Muñoz V.

Dr. Ing. Agr. Agronegocios

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Victor Villalobos A.

Dr. Ing. Agr. Biotecnología



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Editorial

VOLUMEN 6 • NÚMERO 4 • JULIO—AGOSTO, 2013.

Un tema de actualidad como la nanotecnología y sus diversas aplicaciones en la medicina, farmacéutica, industrias textil, alimenticia, electrónica, materiales de construcción, plásticos, remediación ambiental, entre muchas otras, está generando una revolución en las actividades y productos cotidianos, debido a la inclusión de elementos que en teoría las hacen más eficientes y con menor daño o efectos residuales. En este número **AP AGRO PRODUCTIVIDAD** presenta diferentes enfoques de intervención de la nanociencia y nanotecnología, muchos de los cuales pasan desapercibidos en el día a día de la población, sobre todo de áreas urbanas. Un aspecto relevante de los avances en este campo, son las aplicaciones orientadas a mitigar los impactos del cambio climático y la emisión de gases de efecto invernadero. Si bien la nanociencia y nanotecnología pueden resultar eficientes, es necesario considerar cambios en las actividades humanas y bajar sensiblemente sus impactos. Los desechos de la agricultura y ganadería por ejemplo, pueden ser reorientados a la generación de bioenergía, fomentar el aprovechamiento de la luz solar mediante el uso de celdas fotovoltaicas y reducir la quema de hidrocarburos, hacer uso eficiente y responsable del agua para irrigación con monitoreo legal en cuanto al arrastre de sólidos orgánicos e inorgánicos, o bien, incluir actividades que faciliten el secuestro de carbono. Los avances en la nanociencia y nanotecnología involucran los alimentos, calidad e inocuidad, prevención de enfermedades y coadyuvan en el control de problemas de interés público, como la salud, estrategias fito zoosanitarias o soberanía alimentaria entre muchos otros, y aun cuando la nanotecnología se ha presentado como una herramienta que ayudará en la resolución prácticamente de “todos los problemas”, queda pendiente por resolver el impacto que pueda tener en los sectores más pobres de la población, por ejemplo, si estarán éstas tecnologías al alcance de los sectores de la población con pocos ingresos económicos, sobre todo en los países menos desarrollados.

Nanotecnología agrícola:

Caso 1. Liberadores de feromonas,
Caso 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas

Cibrián-Tovar, J.^{1,3*}; Quero-Carrillo, A.^{2,3}; Muñoz-Merino, M.^{1,3}; Hernández-Guzmán, F.J.²; Cibrián-Jaramillo, A.⁴; Manzano-Camarillo, M.⁵

¹Programa de Fitosanidad Entomología y Acarología *Campus* Montecillo, ²Programa de Ganadería, ³LPI-16 Innovación Tecnológica Colegio de Postgraduados, km 36,5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México 56230. ⁴Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad, CINVESTAV, Irapuato, Guanajuato C.P. 36821. ⁵Sistemas Ambientales, ITESM. *Campus* Monterrey.

Autor responsables: jcbrian@colpos.mx; queroadrian@colpos.mx

RESUMEN

La nanotecnología ofrece la oportunidad de integrar avances en el desarrollo de estrategias en el sector agrícola. En el caso uno se presenta una estrategia para el control biológico de la palomilla *Cactoblastis cactorum* L. (Lepidoptera: Phycitinae), plaga de varias especies de cactáceas, para quien la encapsulación de feromonas y uso de trampas ofrece una solución innovadora para proteger la producción de nopal en México. En el caso dos se presenta una propuesta mediante el encapsulado de la cariósida (semilla agrícola de gramíneas), para mejorar la germinación y el vigor de plántulas de pastos nativos que enfrentan ambientes adversos y sequía inter-estival, con el fin de mejorar la cobertura de suelo en zonas semi-áridas altamente degradadas por el sobre pastoreo, mejorando la retención del suelo y la humedad.

Palabras clave: Feromonas, tasa de liberación, volátiles, pastos nativos, sequía, nanoesferas.



INTRODUCCIÓN

Se define a la nanotecnología como el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, dispositivos y sistemas a escala nanométrica de 1-100 nm (1×10^{-9}) (Sharma 2012). En esta contribución se explora su aplicación en el área agrícola, con dos propuestas: su uso en la liberación de feromonas para insectos, y la dispersión de nutrientes para pastos.

CASO 1: Liberadores de feromonas

En el mundo viviente se producen diversos compuestos químicos que son liberados al medio; estas sustancias provocan cambios fisiológicos o de comportamiento en los organismos que los reciben, y establecen una trama fina de relaciones químicas entre unos y otros. Así, todos los organismos producen señales químicas y, en reciprocidad, todos responden a las emisiones químicas de otros organismos (Wilson, 1971). Estos mensajeros químicos se conocen como semioquímicos, del griego “*semeion*”, que significa señal, liberados por plantas, insectos y otros organismos. Los insectos los utilizan como fuente de información del medio que los rodea, gracias a que su sentido del olfato está muy desarrollado; se localiza en antenas, palpos maxilares y, en menor proporción, en las patas y otras estructuras orgánicas (Vogt, 2005).

Hay dos grandes grupos de semioquímicos; unos actúan a nivel interespecífico y son conocidos como aleloquímicos, y otros a nivel intraespecífico y se denominan feromonas. En esta contribución se hace referencia a estas últimas y se utilizará como ejemplo la

feromona sexual de *Cactoblastis cactorum* L. (Lepidoptera: Phycitinae), conocida como la palomilla del nopal (Figura 1) la cual se alimenta de varias especies de cactáceas (Zimmermann *et al.*, 2001) de las que México tiene en abundancia.

A la fecha la palomilla del nopal aún no se encuentra en México, aunque los estudios de Hight y Carpenter (2009) predicen su avance de 160 km por año (Figura 2).



Figura 1. Hembra de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) con palpos maxilares que se proyectan hacia adelante.

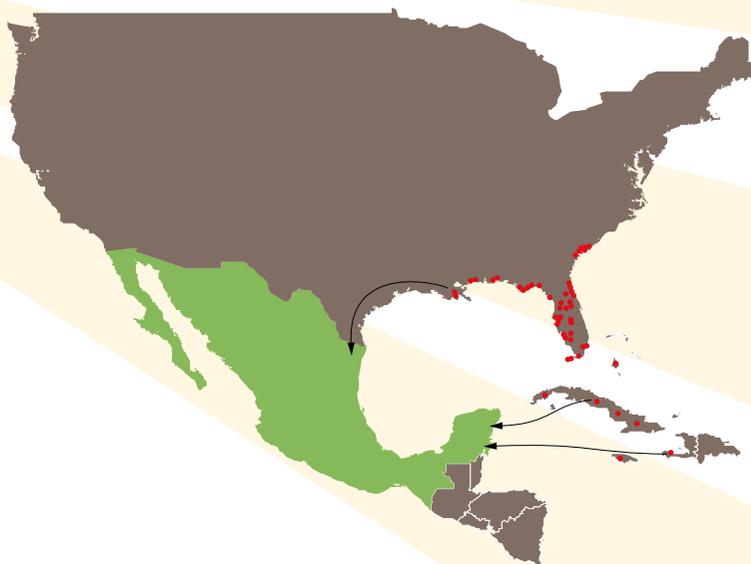


Figura 2. Posibles sitios de entrada de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) a México. Los puntos rojos indican la presencia de la palomilla y las líneas negras muestran las posibles vías de entrada de la plaga a México desde el extranjero (Hight y Carpenter, 2009).

El avance de ésta hacia México debe ser de gran preocupación, ya que amenaza a las especies mexicanas de *Opuntia* spp. y a la producción nacional de nopal y tuna (Zimmerman *et al.*, 2001). El daño que producen las larvas de quinto instar de *C. cactorum* en un día, es devastador (Figura 3 A). Se destaca que a diferencia de otros insectos, las larvas atacan en conjunto (Tifton Georgia, EEUU, 2010).

La hembra de esta especie produce alrededor de 200 nanogramos (200×10^{-9} g) en su glándula de feromona sexual (Figura 3 B) de las cinco a las seis de la mañana (Heath *et al.*, 2006), la misma hora en que los machos se activan para ubicar a las hembras mediante sus antenas. Las sustancias que integran la feromona sexual de la palomilla del nopal son: (Z, E)-9,12 tetradecadien-1-ol acetato, (Z, E)-9,12 tetradecadien-1-ol y (Z)-9-tetradecen-1-ol acetato. El reto es tener un dispositivo que libere estos compuestos en las mismas proporciones que la hembra para atraer al macho a la trampa, y así determinar el avance de la palomilla hacia México.

Actualmente se utilizan septos de caucho (Figura 4 A) cargados con feromona sintética (1 mg) y colocados en trampas, como se indica en la Figura 4 B, y útiles por 30 días en campo; liberan feromona las 24 horas.

A la fecha se han colocado 1200 trampas distribuidas desde Cancún, QR hasta el Río Bravo en Tamaulipas, para detectar el ingreso de este insecto a México y actuar en consecuencia.

Al considerar el tamaño de los insectos, se puede deducir que las glándulas que producen estas sustancias son aún más pequeñas y, por lo tanto, la cantidad producida de feromona es aún menor. Así, lo que es una desventaja en la investigación inicial, ya que para aislar e identificar las sustancias se trabaja a partir

de cantidades muy reducidas, se convierte en una ventaja cuando ya se tienen los compuestos identificados y sintetizados porque no se necesitan cantidades mayores a 10 g para vigilar varios cientos de hectáreas. Por ejemplo, la hembra de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) libera “puffs” de 10-20 ng ($10-20 \times 10^{-9}$ g) por hora, o bien, $0.000000010 \text{ g ha}^{-1}$ (Heath *et al.*, 2006). A la fecha se utilizan varios dispositivos, como los microcapilares, fibrillas, encapsulados y microsferas, que cumplen su papel como liberadores de feromonas. Sin embargo, el potencial de nano-liberadores y nano cápsulas, principalmente de polímeros (Serban *et al.*, 2010) o de Quitosán, pueden competir favorablemente con las emisiones de insectos en campo y funcionar sólo a la hora prevista (de 5:00 am a 6:00 am) y dar un gran impulso al manejo de insectos mediante feromonas.

La investigación de nano cápsulas está basada en polímeros y encaminada no sólo a la liberación de feromonas, sino de otros agentes de protección de cultivos; por ejemplo,



Figura 4. A: Septo de caucho. 4 B: Trampa de ala provista con un septo de caucho (arriba) de la feromona sexual de *C. cactorum*, Tamaulipas, México.



Figura 3. A: Daño causado por larvas de la palomilla del nopal en un cladodio de *Opuntia* spp. B: La flecha señala la glándula de feromona de la palomilla del nopal.

insecticidas, fungicidas y herbicidas, entre otros. La liberación de feromonas a escala nano está siendo desarrollada (Serban *et al.*, 2010) y será en cantidades menores de las que se usan hoy en día y en horarios específicos. La aplicación de estas tecnologías novedosas seguramente tendrán impacto en la técnica de interrupción del apareamiento de *Cactoblastis cactorum*, ya que se podrán diseminar nano cápsulas o nano esferas en un área determinada, de tal forma que los machos se confundan ante una multitud de estímulos falsos y les sea difícil encontrar a las hembras reales. En Sinaloa, México se usan liberadores micro para el manejo del gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*) con una carga de 60-80 g ha⁻¹, pero si se usaran nano liberadores se necesitarían cantidades menores a 1.0 g ha⁻¹. Con nanotecnología se pueden diseñar nanoliberadores basados en polímeros y geles que ofrecen las siguientes ventajas:

Uso de menor cantidad de sustancias activas (nanogramos).

Estabilización de los compuestos feromonales ante la degradación por luz, aire, humedad y microorganismos.

Menor contaminación, ya que un gramo cubre varias hectáreas.

Intervalos de aplicación más largos, debido a las propiedades de los polímeros que responden sólo a una determinada temperatura y no se liberan las 24 horas

Disminución de costos

En insectos se han usado nano partículas cargadas con aceite de ajo para el manejo de *Tribolium castaneum* con un éxito aceptable (Yang *et al.*, 2009); sin embargo, hay que asegurarse de que no haya riesgos nano-toxicológicos y que éstos sean conocidos y reducidos (por debajo de un nivel crítico) (Moniruzzaman *et al.*, 2007; Serban *et al.*, 2010). Su uso en medicina humana (en particular para enfermedades crónicas y degenerativas) apoya la viabilidad de su empleo en agricultura.

CASO 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas

La aplicación de técnicas de encapsulado a cariósides de gramíneas forrajeras en condiciones de secano es de gran interés, ya que esta tecnología puede mejorar la germinación y el mejor desarrollo de plántulas, incrementando el reclutamiento de nuevos individuos en pastizales de regiones áridas y semiáridas, las cuales están fuertemente expuestas a la erosión y tienen un elevado porcentaje de suelo desnudo (Quero *et al.*, 2010) (Figura 5).

Se ha estudiado el efecto de dióxido de titanio (TiO₂) en forma de nano partículas y no nano sobre la germinación y crecimiento de plántulas de espinaca evaluados por Zheng *et al.* (2005), quienes reportaron incrementos de 0.25% a 4% en la germinación y vigor de semilla estimulada con la forma nano particulada (NP). Gracias a su densidad de semilla por kilogramo y a su rapidez para establecerse, las gramíneas representan un aliado para proteger al suelo de la erosión. En estudios realizados, las plántulas presentaron mayor peso seco, concentración de clorofila y tasa

Figura. 5. Grandes superficies del territorio nacional se encuentran en condiciones de baja cobertura de suelo.



fotosintética; sin embargo, el efecto en la semilla es aún desconocido. Gao *et al.* (2007) proponen que el efecto de las NP en espinaca es sobre la absorbancia de la luz, su transformación a electrones, y activación de la RuBis-co. En pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), la eliminación de estructuras que envuelven el cariósido tiene un efecto positivo sobre la germinación (Quero *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2012a). Esta práctica promueve la emergencia de plántulas al momento de la siembra, alcanzando prácticamente la totalidad de la viabilidad de la cariósido (Cuadro 1). De forma similar, Hernández *et al.* (2012b) indican que la selección de cariósidos de mayor tamaño aumentó el crecimiento inicial de las plántulas, siendo éstas más grandes y vigorosas (Figura 6) en los periodos críticos de establecimiento; sin embargo, este beneficio no se ve reflejado en condiciones de campo (datos no mostrados).

Debido al tamaño de las cariósidos, un kg de éstas contiene 1 400 000 individuos. Las plántulas recientemente emergidas son pequeñas y de lento crecimiento, por lo que en tierras de reconversión productiva con mayor contenido de maleza se han desarrollado estrategias de siembra para identificar a Banderita de la maleza anual, lo que es informativo para el manejo exitoso de establecimiento en esta especie (Figura 7).

En la mayoría de los cultivos, cariósidos de mayor tamaño producen plántulas vigorosas, que pueden enfrentar la sequía interestival, factor limitante en el establecimiento de praderas en zonas áridas y semiáridas. Las tierras de reconversión productiva poseen bancos de semilla abundantes, lo que dificulta el manejo de protección a la especie de interés. La siembra discontinua de cariósidos (mucho, nada, mucho, nada) ayuda a la diferenciación de la especie de interés y a su protección para lograr su establecimiento.

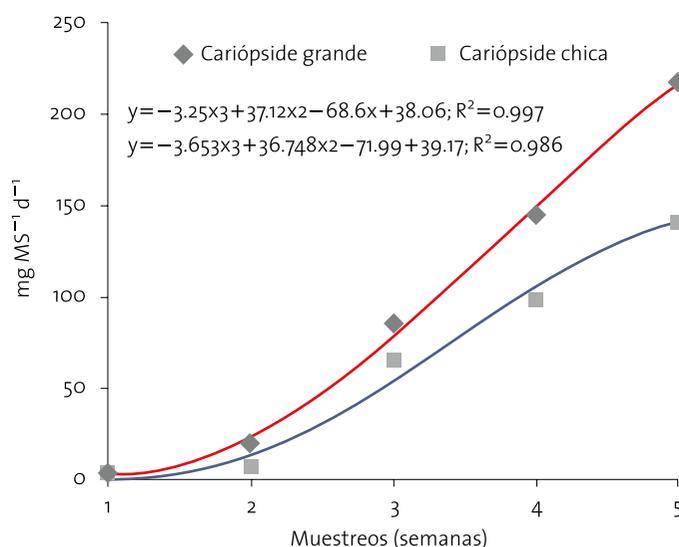


Figura 6. Desarrollo de plántula de un genotipo de Banderita con diferente tamaño de cariósido.



Figura 7. Siembra discontinua de cariósidos permite diferenciar la especie de interés

Cuadro 1. Caracterización de semilla (cariósidos) de cuatro gramíneas para zonas áridas, evaluadas para germinación y viabilidad, con diferente beneficio y clasificación.

Especie	1	1a	2	2a	3	4	5	6	7	8	9
Buffel	2606	384	649	1540	11	21	97	40	86	11	11
Navajita	590	1695	513	1949	13	36	98	62	84	84	96
Rhodes	293	3413	229	4367	11	24	98	32	88	55	88
Banderita	962	1039	714	1401	11	24	97	23	92	74	96

Peso de mil diásporas (mg); 1a: Número de diásporas (miles) por kg 2: Peso de mil cariósidos (mg); 2a: Número de cariósidos (miles) por kg. 3: contenido de humedad (%); 4: Pureza física de diásporas (%)*; 5: Pureza física de cariósidos; 6: Número de cariósidos en 100 diásporas; 7: Viabilidad de cariósidos (%); 8: Germinación diásporas (%); 9: Germinación cariósidos (%). *Pureza física = $\frac{\text{Peso cariósidos} \times 100}{\text{peso total muestra}}$.

CONCLUSIONES

El uso de la nanotecnología tiene gran potencial en el control de plagas de cactáceas y en el establecimiento de gramíneas en zonas semiáridas y de secano agrestes. La innovación de nuevas técnicas en la escala micro y nano, ofrecen alternativas en la solución de problemas del agro mexicano.

AGRADECIMIENTOS

A la LPI 16 “Innovación Tecnológica” del Colegio de Postgraduados, por su apoyo en la consecución de los experimentos descritos. Al CONACyT, por las becas de doctorado del tercer y cuarto autor.

LITERATURA CITADA

- Gao F., Liu C., Qu C., Zheng L., Yang F., Su M., Hong F. 2008. Was improvement of spinach growth by nano-TiO₂ treatment related to the changes of Rubisco activase? *Biometals*. 2008 21(2): 211-217.
- Heath, R. R., Teal P. E. A., Epsky N. D., Dueben B., Hight S. D., Bloem S., Carpenter J. E.; Weissling T. J.; Kendra P. E., Cibrian-Tovar J. 2006. Pheromone-based attract for males of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology* 35 (6): 1469-1476.
- Hernández G.F.J., García de los S.G., Ortega C.M.E. Pérez P.R., Quero C.A.R. 2012a. Tamaño de cariósipide y desarrollo de gramíneas para temporal. *In: Memorias 2da Reunión Internacional Conjunta de Manejo de Pastizales y Producción Animal*. Zacatecas, Zac. pp:172-176.
- Hernández G.F.J., Pérez P.R., García de los S.G., Ortega M.E.C., Ramírez E.J., Carranco M.E., Quero C.A.R., Plascencia R. 2012b. Siembra y establecimiento de cuatro gramíneas con diferentes métodos y unidades de dispersión. *In: Memorias 2da Reunión Internacional Conjunta de Manejo de Pastizales y Producción Animal*. Zacatecas, Zac. pp:167-171.
- Hight S.D., Carpenter J.E. 2009. Flight phenology of male *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae) at different latitudes in the Southeastern United States. *Florida Entomologist* 92(2): 208-216.
- Moniruzzaman M., Sabey C.J., Fernando G.F. 2007. Photoresponsive polymers: an investigation of their photoinduced temperature changes during photoviscosity measurements. *Polymers* 48, 255-263.
- Quero-Carrillo A.R., Hernández G. F.J., Hernández G.A., Pérez P.J., Mendoza P.S.I. 2010. Análisis de los factores que inciden en el establecimiento de pastos perennes en condiciones de temporal de zonas áridas. *In: Contexto Actual del Uso, Manejo y Tendencias de Investigación en Pastizales y Recursos Forrajeros en México*. I Congreso Internacional de Manejo de Pastizales Ma. E Velasco Z, RA. Perezgrovas G, Ma. de L Adriano A, MS Figueroa (eds.) UA de Chiapas. Vol. II. Resúmenes in extenso. pp: 248-254. Tuxtla Gutiérrez, Chis. 13 al 15 de Octubre.
- Serban F.P., Oancea F., Siciua O.A., Constantinescu F., Dinu S. 2010. Responsive Polymers for Crop Protection. *Polymers* 2, 229-251; doi: .3390/polym2030229.
- Sharma N.K. 2012 *Nanotechnology: Synthesis and Applications*, Akhand Publishing House United Kingdom, 259 p.
- Wilson E.O. 1971. *The insect societies*. Cambridge, MA, USA: The Belknap Press of Harvard University Press. 234 p.
- Yang F.L., Li X.G., Zhu., Lei C.L. 2009. Structural characterization of nanoparticles loaded with garlic essential oil and their insecticidal activity against *T. castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(21): 10156-10162.
- Zheng L., Hong F., Lu S., Liu C. 2005. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biol Trace Elem Res*. 104(1): 83-92.
- Zimmermann H.G., Moran V.C., Hoffmann J.H. 2001. The renowned cactus moth, *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae): its natural history and threat to native *Opuntia* floras in Mexico and the United States of America. *Florida Entomologist* 84, 543-551.



DAVID CONTRA GOLIAT:

La nanotecnología en la limpieza del ambiente

Carrillo-González, R.^{1,3}; González-Chávez, M.C.A.^{1,3}; López-Luna, J.²

¹Programa de Edafología *Campus* Montecillo Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco. Texcoco, México. 56230. ²Universidad de la Sierra Juárez, Instituto de Estudios Ambientales, Av. Universidad s/n Carr. Guelatao-Ixtlán. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. C.P. 68725. ³LPI 16 Innovación Tecnológica.

Autor responsable: crogelio@colpos.mx

RESUMEN

En el contexto de la situación ambiental que se vive en la actualidad, se discuten brevemente aplicaciones de mayor factibilidad de materiales nanoestructurados, la catálisis y reducción química inducidas por nanocompositos, así como la adsorción en nanoestructuras. Se omiten otras posibles aplicaciones recientemente sugeridas en el ámbito preventivo y de remediación ambiental, dejando pendiente las implicaciones éticas y toxicológicas que pueden derivarse de la aplicación de la nano ingeniería.

Palabras clave: nanopartículas, nanocompositos, nanobiocidas, catálisis.

INTRODUCCIÓN

La nanociencia es una disciplina que en sus primeros años se ha enfocado a descubrir, caracterizar y modelar los materiales y fenómenos a escala nanométrica (Diallo *et al.*, 2011). De este conocimiento derivó la nanotecnología o la manipulación de la materia a escala nano, cuyos primeros desarrollos se enfocaron en áreas de rápido retorno económico, como la electrónica y los materiales. Más recientemente se ha diversificado su uso, así como su aplicación a la solución de problemas ambientales; sin embargo, la implementación en la vida cotidiana no sólo depende de la posibilidad de bajar su costo, sino que también debe considerar su sostenibilidad. Dentro de las posibles aplicaciones de los productos con base en nanomateriales, se han incluido la protección y limpieza del ambiente, y las implicaciones de la miniaturización se reflejan en la reducción de la materia prima y el consumo de energía; por ejemplo, se estima que esto último se puede reducir hasta 10% por uso de la nanotecnología y, con ello, la emisión de bióxido de carbono (Masciangioli y Zhang, 2003), lo cual se puede traducir en disminución de la contaminación lo que, a su vez, se refleja en incremento de las posibilidades de reciclaje debido al uso más eficiente y consideración de materiales menos tóxicos y agentes renovables.

La problemática actual del ambiente

Las actividades del hombre para satisfacer la demanda de alimentos y servicios de nuestra población, han llevado varios procesos al límite. Lo anterior coloca a la humanidad ante posibles catástrofes con consecuencias directas. Entre los procesos que se consideran fuertemente alterados, de acuerdo con Rockström *et al.* (2009), se incluyen el cambio de clima, pérdida de biodiversidad, alteración en los ciclos de nitrógeno y fósforo, disminución del ozono estratosférico, acidificación de océanos, demanda de agua, cambio de uso de suelo, carga de aerosoles y contaminación. El Cuadro 1 muestra la unidad del indicador representativo de la modificación donde, por ejemplo, la concentración del bióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera es el indicador que se relaciona con el cambio de clima. Su concentración antes de la era industrial era de aproximadamente 280 ppm,

pero desde el inicio de ésta se incrementó y en la actualidad es de 396 ppm (Tans, 2013), y la concentración meta que se esperaría alcanzar para que el proceso no continúe es de 350 ppm.

La alteración de los ciclos del nitrógeno y fósforo es otro caso en el cual el hombre ha contribuido fuertemente. Lo mismo ha ocurrido con la disminución de la capa de ozono estratosférico y, para mitigar estos efectos, es importante la intervención humana con tecnología nueva para poder alcanzar los valores establecidos como meta. De igual forma, la acidificación de los océanos se relaciona con la emisión de CO₂, por lo que la reducción de sus emisiones o captura son clave para mitigar este fenómeno. Otro caso es el consumo de agua dulce por año, que se estima fue de 450 km³. Actualmente es de 2600 km³, donde se incluye el agua potable, de uso agrícola y la que retorna como agua residual, la cual es vertida a ríos y descargada al mar.

En el caso de la contaminación se reconocen serios problemas, debido a la descarga de compuestos orgánicos e inorgánicos al agua y los suelos. No es posible tener un indicador de la situación preindustrial presente y la meta que nos garantice la sostenibilidad de los recursos. Lo que sí se sabe es que antes de 1940 no había plaguicidas vertidos al agua y al suelo, y que sólo las personas que habitaban alrededor de minas se exponían crónicamente a metales; sin embargo, ahora la exposición se ha incrementado a poblaciones humanas de áreas industriales y ciudades e, incluso, las rutas de exposición a estos elementos se han diversificado y multiplicado en todos los sitios donde el estilo de vida humano está basado en el consumo. Lo anterior tiene como consecuencia la reducción de la calidad de vida (Glaeser, 2011).

Uso de materiales nanométricos para remediar la contaminación

El uso de instrumentos y materiales con componentes de tamaño nanométrico pueden contribuir a la reducción del consumo de materia prima y energía y, a la postre, abatir la emisión de gases con efecto invernadero. De acuerdo con la información de los Estados Unidos de América (EUA), la miniaturización redujo el consumo de materia prima y energía en 2011. El uso de fertilizantes en forma de compuestos nanoestructurados incrementa la eficiencia de su absorción y reduce las dosis aplicadas de nitrógeno (Ledezma, 2012) y fósforo para la producción de cultivos. Lo anterior

Cuadro 1. Procesos, indicadores y alteraciones ambientales por actividades humanas.

Proceso	Parámetro indicador	Valor		
		preindustrial	Presente	Meta
Cambio de clima	Concentración atmosférica del CO ₂ (mg kg ⁻¹)	280	396	350
	Radiación forzada (w m ⁻²)	0	1.5	1
Pérdida de biodiversidad	Tasa o velocidad de extinción de especies (número de especies por millón de especies por año)	0.1- 1	>100	10
Ciclo del nitrógeno	Cantidad de N ₂ removido de la atmósfera por el hombre (millones de t año ⁻¹)	0	121	35
Ciclo del fósforo	Cantidad de fósforo arrojado a los sedimentos (millones de t año ⁻¹)	-1	8.5-9.5	11
Disminución de ozono estratosférico	Concentración de ozono (Unidades Dbson)	290	283	276
Acidificación de los océanos	Promedio global de estado de saturación de aragonita en agua superficial	3.44	2.90	2.75
Demanda global de agua dulce	Consumo de agua dulce por humanos (km ³ año ⁻¹)	415	2 600	4 000
Cambio de uso del suelo	Porcentaje global de cubierta vegetal y cultivos	Bajo	11.7	15
Carga de aerosoles en la atmósfera	Concentración de partículas en atmósfera, c/base regional	No registrado		
Contaminación química	Cantidad emitida o concentrada de contaminantes orgánicos, metales pesados, isotopos.	0 (mg kg ⁻¹ de compuestos orgánicos sintéticos)	Por determinar depende la especie química	

Adaptado de Diallo *et al.* (2011).

contribuiría a abatir la alteración de los ciclos de nitrógeno y fósforo, y reducir la cantidad de este último, descargado en los sedimentos. Por ello, la elaboración de materiales de tamaño nanométrico pueden permitir el reciclado de materiales y el uso más eficiente de la materia prima.

Respecto a los problemas de contaminación, se han identificado varios materiales con aplicaciones a favor de la sostenibilidad de algunos procesos y la depuración o protección del ambiente, aprovechando la reactividad de los compuestos de tamaño nanométrico. Es importante señalar que la investigación se ha enfocado a problemas de contaminación del agua, pero hay algunos análisis para

su uso en suelo (Cundy *et al.*, 2008), y a la fecha se pueden agrupar en cinco posibles formas, pero podría haber otras posibilidades de aplicación.

Nanosorbentes

Materiales con alta capacidad y selectividad para remover cationes, aniones y compuestos orgánicos del agua contaminada. En éstos se incluyen nanoarcillas, nanopartículas de óxidos de metales (Figura 1 A), y materiales porosos nanoestructurados de titanio, silicio o aluminio (Han, 2007); por ejemplo, zeolitas, compuestos cristalinos, porosos de aluminio y silicio con estructuras bien definidas, se usan para separación y catálisis. Las zeolitas nanoporosas (de 10 a 100 nm) pueden utilizarse para oxidar

selectivamente hidrocarburos, como el tolueno y benzaldehído (Figura 1 B). Las ventajas de su uso son que la oxidación ocurre con luz visible, lo que reduce el consumo de energía y la producción de compuestos secundarios. Otros materiales absorbentes son las fibras de carbono y los absorbentes poliméricos nanoporosos. Estos últimos retienen contaminantes y se pueden aplicar a soluciones acuosas e, incluso, para retener el CO₂ de los escapes de los autos (Gottschalk *et al.*, 2011).

Compositos

Con propiedades magnéticas como la magnetita, maghemita y jacobsita, pueden atrapar cromo (VI) sobre su estructura y removerlo del agua (Niu

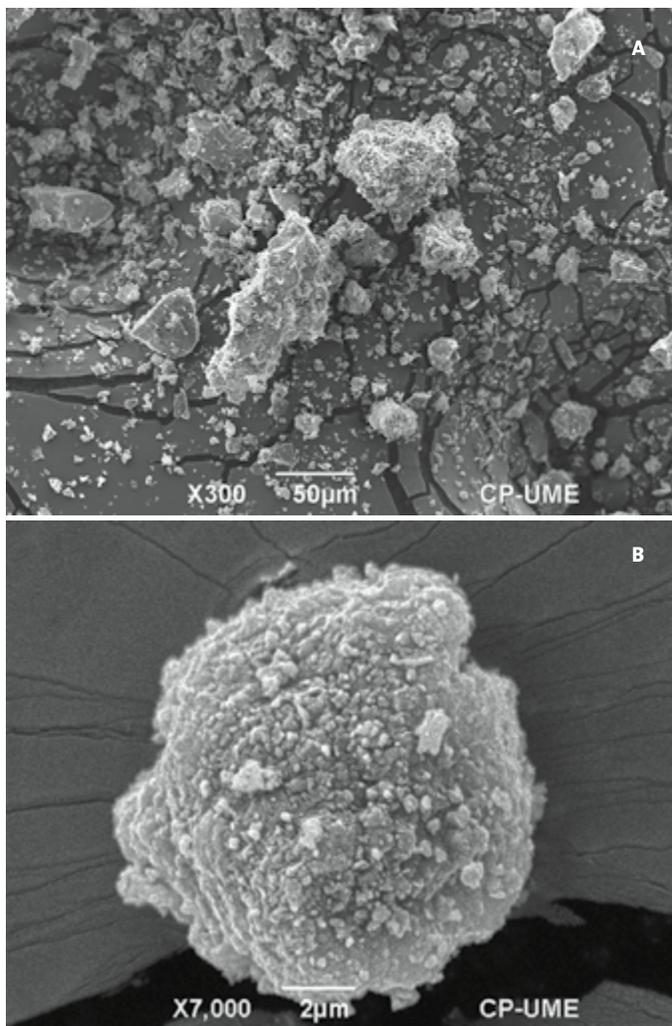


Figura 1. A: Ferrihidrita sintética porosa. B: Aglomerado de zeolita natural. Microfotografías de microscopio electrónico de barrido. 300X y 7000X, respectivamente.

o inducir otras reacciones que disminuyen la actividad del compuesto. En este grupo se incluye al dióxido de titanio (TiO_2) que puede ser activado con luz visible (fotocatalítico). El cambio del estado de oxidación de algunos elementos es suficiente para reducir su toxicidad. Las partículas metálicas con valencia cero, como el hierro, se consideran como excelentes donadores de electrones, por lo que pueden oxidar materiales a su alrededor, independientemente de

et al., 2005); además, también sirven para quitar algunos compuestos aromáticos (Cundy *et al.*, 2008). Figuras 2A y 2B: partículas de oro para remover mercurio del agua residual (Anshup y Pradeep, 2009). Esta posibilidad es muy importante si se considera la alta movilidad del mercurio, la cual dificulta quitarlo del ambiente, pues pasa con mucha facilidad del suelo o agua a la atmósfera.

Nanocatálisis y nanopartículas redox activas

Éstas pueden convertir solutos orgánicos tóxicos u oxianiones en productos inocuos. Se entiende por catálisis la aceleración de la velocidad con que ocurren las reacciones químicas por efecto de un catalizador. Algunas nanopartículas se pueden usar para acelerar la oxidación de compuestos

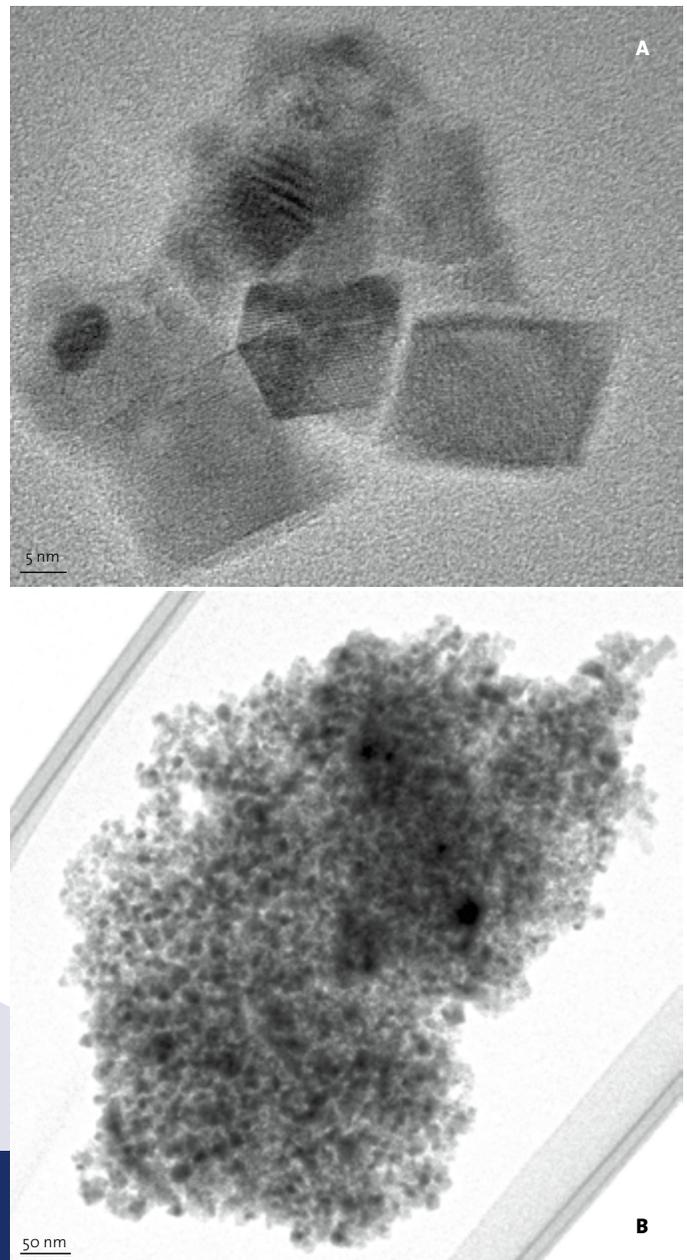


Figura 2. A: Aglomerado de nanopartículas de óxido de hierro Fe_3O_4 . B: Nanopartículas de óxido de hierro Fe_3O_4 (Foto: J. López).

su tamaño. Esta capacidad reactiva se puede aprovechar para oxidar compuestos estables de cloro (R-Cl), como hexaclorociclohexano, usualmente tóxicos (Zhang y Elliott, 2006).

Nanopartículas de hierro (Fe)

Otros metales con valencia cero también oxidan compuestos orgánicos, como el tricloroetileno (Figura 1 A). Diversos compuestos de hierro, como las partículas bimetálicas, entre las que están hierro/paladio, hierro/platino, hierro/plata, hierro/níquel, y hierro/cobalto, pueden oxidar compuestos, como tetracloruro de carbono, crisoidina, cloroformo, diclorometano, hexoclorobenzeno, tetraclorobenzeno, diclorobromometano, diclorobenzeno, tetracloroetano, DDT, TNT, lindano y sus productos de reacción (Savage *et al.*, 2009); la proporción de material removido puede ser mayor a 60% (Cundy *et al.*, 2008).

Nanobiocidas

Pueden desactivar bacterias en agua contaminada, sin generar productos secundarios tóxicos. Entre estos materiales se incluyen nanopartículas de óxidos de magnesio, titanio, cobre, hierro, zinc, aluminio, silicio, cerio, plata y dendrímeros bioactivos (Dinsh *et al.*, 2012). Las partículas con propiedades desinfectantes pueden fijarse sobre fibra de vidrio o polímeros, sobre las que se hace pasar agua para desinfectarla (Nangmenyi, 2009).

Filtros y membranas nanoestructurados para tratamiento de agua y desalinización

Se incluyen fibras de nanotubos de carbono, mismos que pueden usarse para remover bacterias y virus. Los materiales para ósmosis inversa para tratamiento de agua dura son membranas con tamaño de poro de 0.2 a 4 nm; pueden usarse para remover

microorganismos o iones de calcio, magnesio y sodio del agua (Srivastava *et al.*, 2004). Estos materiales son eficientes y de menor costo (Cuadro 2). Las membranas de nanotubos se pueden usar para remover bacterias del agua; estos filtros se pueden regenerar por esterilización en autoclave o por ultrasonificación. Las membranas que aumentan el flujo del agua están compuestas con zeolitas, membranas poliméricas nanofibrosas con alta eficiencia de separación y flujo de agua. Sistemas de filtración con base en nanopartículas y accesorios que incluyen dendrímeros, los que mejoran los sistemas de filtración y de nanofluidos de desalinización de agua (Gottschalk *et al.*, 2011).

Algunos nano-alambres de óxido de manganeso y potasio pueden ser usados para recoger petróleo y sus derivados derramados en el agua con mayor eficiencia, debido a que tienen la capacidad de absorber 20 veces más que los absorbentes comúnmente usados y al calentarlos desprenden el aceite atrapado, por lo que pueden reusarse (Rees *et al.*, 1999).

Nanosensores

Previo a la descontaminación, es necesaria la detección precisa de los contaminantes en el suelo o el agua.

Para este fin, se tiene la posibilidad de aplicar la nanotecnología en sensores y detección de la contaminación para mejorar la sensibilidad de las técnicas de identificación de contaminantes y reducir los costos del análisis (Pacioni y Veglia, 2007). Hay diferentes sensores que se pueden usar como los biosensores, para detectar componentes orgánicos como fenol, ácido fenoxiacético, compuestos aromáticos, halogenados y volátiles (Ikariyama *et al.*, 1993, Pacioni y Veglia, 2007). Los sensores electroquímicos en estado sólido son útiles para detectar gases (Baruah y Dutta, 2009). Los nanosensores se pueden elaborar con Fe_3O_4 cubiertos con oro y una capa de citrato, y pueden detectar uranio (Banerjee *et al.*, 2009).

Se requieren instrumentos para la detección remota *in situ* y para observación continua en tiempo real y para bajas concentraciones. En el caso de los nanotubos, su rápida respuesta a la presencia de gases a temperatura ambiente y alta sensibilidad, puede aprovecharse para la detección de gases contaminantes (Masciangioli y Zhang, 2003).

CONCLUSIONES

La información disponible a la fecha muestra que el uso de materiales con tamaño nanométrico pueden ser muy útiles

Cuadro 2. Ejemplos de materiales con constituyentes nanométricos usados para la limpieza de aguas con diferentes contaminantes que pueden removerse.

Material	Contaminante
Zeolitas nanocristalinas	Tolueno, dióxido de nitrógeno
Nanomateriales carbonáceos: filtros de carbón activado, CeO_2 , nanotubos de carbono	Benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno
Soportes nanoporosos autoestructurados	iones y metales pesados
TiO_2 en nanotubos	Tolueno

Zhang *et al.* (2009); Savage *et al.* (2009).

y eficientes para reducir ciertos problemas ambientales. Algunos de ellos ya se usan a nivel comercial, mientras que otros están en la fase de escalamiento o investigación, pero se espera que se apliquen pronto. Aunado a los beneficios del uso de materiales e instrumentos que lleven partículas de tamaño nanométrico, prevalece el debate sobre sus efectos secundarios, pues pueden ser muy reactivos, y tener también efectos dañinos sobre las células. Bajo este razonamiento debe aplicarse el principio de seguridad para su estudio y aplicación a escala comercial; es decir, previo a su aplicación directa se deben rastrear sus efectos toxicológicos para el ser humano y el ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Biol. Greta Hanako por la asistencia técnica en MEB de la Unidad de Microscopia Electrónica, COLPOS.

LITERATURA CITADA

- Anshup K. P. L., Pradeep T. 2009. Towards a practical solution for removing inorganic Mercury from drinking water using gold nanoparticles. *Gold Bulletin* 42: 144-151.
- Banerjee R., Katsenovich Y., Naja G.M. Li C. 2009. Using nano-sensors in environmental radionuclide monitoring. *IFMBE Proceedings* 24: 197-198.
- Baruah S., Dutta J. 2009. Applications in pollution sensing and degradation. *Environ Chem. Lett.* 7: 191-204.
- Cundy A.B, Hopkinson L., Whitby R.L.D. 2008. Use of iron based technologies in contaminated land and groundwater remediation: A review. *Sci. Total Environ.* 400: 42-51.
- Diallo M., Brinker C.J., Nel A., Shannon M., Savage N., scott N., Murday J. 2011. Nanotechnology for sustainability: environment, water, food, minerals and climate. *In: Roco MC, C Mirkin, M Hersham. (eds) nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and look. Science Policy Reports. Springer pp: 221-259.*
- Dinesh R., Anandaraj M., Srinivasan V., Hamza S. 2012. Engineering nanoparticles in the soil and their potential implications to microbial activity. *Geoderma* 173-174: 19-27.
- Glaeser E. 2011. Cities, productivity, and quality of life. *Science* 333: 592-593.
- Gottschalk F., Ort C., Scholz R.W. Nowack B. 2011. Engineered nanomaterials in rivers- Exposure scenarios for Switzerland at high spatial and temporal resolution. *Environ. Poll.* 159: 3439-3445.
- Han D. 2007. Arsenic removal by novel nanoporous adsorbents- kinetics, equilibrium and regenerability. Report. Environmental and water Resources Division, Texas A&M University.
- Ikariyama Y., Nishiguchi S., Kobatake E., Aizawa M., Tsuda M., Nakazawa T. 1993. Luminescent biomonitoring of benzene derivatives in the environment using recombinant *Escherichia coli*. *Sens Actuators B.* 13: 169-173.
- Ledezma D.A. 2012. Síntesis y efecto de nanoesferas que contienen urea en cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*). Tesis de MC. CICATA IPN. México.
- Masciangioli T., Zhang Q.X. 2003. Environmental Technologies at the nanoscale. *Environ. Sci. Tech.* 37: 102-108.
- Nangmenyi G., Yue Z., Mehrabi S., Mintz E., Economy J. 2009. Synthesis and characterization of silver-nanoparticle-impregnated fiberglass and utility in water disinfection. *Nanotech.* 20(49). Doi:10.1088/0957-4484/20/49/495705.
- Niu S., Liu Y., Xu X., Lou Z. 2005. Removal of hexavalent chromium from aqueous by iron nanoparticles. *J Zhejiang Univ. Sci. B.* 6: 1022-1027.
- Pacioni N.L., Veglia A.V. 2007. Determination of poorly fluorescent carbamate pesticides in water, bendiocarb and promecarb, using cyclodextrin nanocavities and related media. *Analytica chimica Acta* 583: 63-71.
- Rees G.D., Evans-Gowing R., Hammond S.J., Robinson B.H. 1999. Formation and morphology of calcium sulfate nanoparticles and nanowires in water in oil microemulsions. *Langmuir.* 15: 1993-2002.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson A., Chapin F.S., Lambin E.F., Lenton T.M., Scheffer M., Folker C., Schellnhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley J.A. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Savage N., Diallo M., Duncan J., Street A. Sustich R. 2009. Nanotechnology applications for clean water. *William Andrew. NY. USA. pp. 700.*
- Srivastava A., Srivastava O.N., Talapatra S., Vajtai R., Ajayan P.M. 2004. Carbon nanotube filters. *Nat. Mater.* 3: 610-614.
- Tans P. 2013. Trends in atmospheric carbon dioxide, Recent Mauna Loa Data. In: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Zhang W., Elliott D.W. 2006. Application of iron nanoparticles for groundwater remediation. *Interscience. DOI:10.1002/rem.20078.*
- Zhang J., Yu D., Chen W., Xie Y., Wan W., Liang H., Min C. 2009. Preparation of Poly(styrene-glucidylmethacrylate)/FeO₄ composite microspheres with high magnetic contents. *J. Magnetism magnetic mat.* 321: 572-577.



La nanociencia y la nanotecnología

Herramientas para medir lo diminuto

Zavaleta-Mancera, H.A.¹; Vilchis-Nestor, A.R.³; López-Carrillo, L.M.¹; Arenas-Alatorre, J.⁴; Hanako-Rosas, G.¹ Crosby-Galván, M.M.²

¹Unidad de Microscopía Electrónica y ²Laboratorio de Nutrición Animal, LPI-16 "Innovación Tecnológica" Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Km. 36.5 Carr. Mex-Tex. 56230. Estado de México, México. ³Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. Km 14.5 Carr. Toluca-Atlaconulco, 50200. Toluca, México. ⁴Instituto de Física, Circuito Universitario, Universidad Nacional Autónoma de México. Avenida Insurgentes Sur 3000, 04510. Ciudad de México, DF, México.

Autor responsable: arazavaleta@colpos.mx

RESUMEN

En este artículo se describen los conceptos de Nanociencias, Nanotecnología, nanómetro y nanopartículas (NPs), abundando en la escala micro y manométrica, comparativamente con otras unidades de magnitud. Se definen familias de nanoestructuras (fullerenos, nanopartículas, nanocápsulas, dendrímeros) y sus variantes, así como sus posibles aplicaciones. Además, se describen e ilustran algunas herramientas para la medición y caracterización de Nps. Microscopías Electrónicas, de Transmisión (TEM), de Barrido (SEM) de transmisión y alta resolución (HRTEM), de barrido y alta resolución o emisión de campo (HRSEM), microscopía de fuerza de barrido (SPM) por tunelaje (STM), o bien, de fuerza atómica (AFM), y otras técnicas, como la Espectroscopia de Absorción de Rayos X (XAS) y "Dinamic Light Scattering (DLS), que usa el Nanoseizer.

Palabras clave: Nanociencias, nanotecnología, nanopartículas, microscopía electrónica.

INTRODUCCION

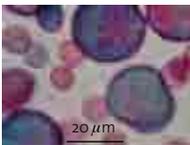
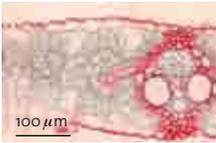
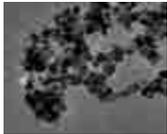
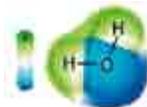
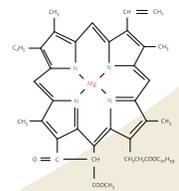
Los términos nanociencia y nanotecnología se escuchan cada vez con mayor frecuencia en el lenguaje científico y cotidiano. El prefijo nano viene del griego “**enano**”, que significa pequeño. Así, el nanómetro (nm) es la unidad de longitud que equivale a una mil millonésima 0.00000001 parte del metro (1×10^{-9}), y se usa para medir objetos mucho más pequeños que el micrómetro (μm), el cual equivale a 1×10^{-6} de metro (Hernando-Grande, 2007). Para dimensionar lo anterior una bacteria de $1 \mu\text{m}$ mide 1000 nm; un grano de polen de nopal

(*Opuntia spp.*), $80 \mu\text{m}$ (80,000 nm) de diámetro; y un cabello humano, 75,000 nm de diámetro (Cuadro 1).

¿Qué es la nanociencia y la nanotecnología?

La Nanociencia es un área emergente de la ciencia que se ocupa del estudio de las propiedades y los procesos que ocurren en estructuras en dimensiones manométricas. En 1985, Harry Kroto, Bob Curl, y Rick Smalley descubrieron esferas de carbón puro distintas al diamante y al grafito a las que llamaron “Buckyballs” en honor a Buckminster Fuller, descubrimiento que les valió el premio Nobel de Química en 1996 (Pradeep, 2008; Philip, 2011). Estas estructuras de

Cuadro 1. Comparación de las unidades de longitud y los objetos en el ambiente agronómico que pueden medirse con estas magnitudes.

Unidad	Fracción del metro	Equivalencia SI	Objeto	
Centímetro cm	1/100 centésima	1×10^{-2} 0.01	 Mazorca de maíz (<i>Zea mays</i>)	 Flores de gerbera
Milímetro mm	1/1000 milésima	1×10^{-3} 0.001	 Hormiga 2 mm	 Semillas de lenteja
Micrómetro μm	1/1000,000 millonésima	1×10^{-6} 0.000 001	 Polen de Iris y Bromus 20 μm	 Células de la hoja de <i>Zea mays</i> 100 μm
Nanómetro nm	1/000,000,000 Mil millonésima	1×10^{-9} 0.000 000 001	 Virus 98 nm	 Nanopartículas metálicas (50 nm)
Angström Å	1/000,000,000,0 Diez milmillonésima	1×10^{-10} 0.000 000 0001	 Molécula de agua 2 Å	 Molécula de clorofila

60 carbonos (C₆₀) se encuentran en forma natural en el hollín (Figura 1 A). En 1991, Sumio Iijima descubrió nanotubos de carbón de 1 nm de diámetro a los que les llamó fullerenos. Los nanotubos de carbón son las fibras más fuertes que se conocen; un solo nanotubo perfecto es de 10 a 100 veces más fuerte que el acero y posee propiedades físicas y químicas anti-oxidantes muy interesantes (Gharbi *et al.*, 2005). El grafeno es una lámina formada por átomos de carbono con un arreglo de “panal de abejas”, mientras que un nanotubo de carbono es una lámina de grafeno enrollada en forma de cilindro (Cepa *et al.*, 2013). La posible aplicación de un material ligero y muy resistente es de gran interés en la industria aeronáutica, espacial, automotriz, electrónica, textil, y medicinal (Poole y Owens, 2007).

La característica que hace únicas a las nanopartículas una razón superficie/volumen muy grande. Eso significa que un gran número de los átomos de las nanopartículas se encuentran en la superficie; por esto, son muy interesantes ya que la superficie de un

material se multiplica varios millones de veces, de manera que sus propiedades físicas se modifican (Hernando-Grande 2007). Las nanoestructuras de formas esféricas e isodiamétricas pueden agruparse en seis familias.

Nanoesferas y nanotubos carbono. Están formados sólo de átomos de carbono con un arreglo en panal (hexágonos y pentágonos) y reciben el nombre de fullerenos; son muy ligeros, poseen alta dureza, elasticidad y conductividad eléctrica (Cerpa *et al.*, 2013) (Figura 1).

Nanopartículas sólidas. Pueden estar formadas de un solo elemento, como oro o plata (Au y Ag), o de algún compuesto reactivo (TiO₂, AlO₂, Fe₃O₄, Ca₂PO₄) (Grassian *et al.*, 2008). (Figura 2 A).

Nanopartículas core-shell. Son partículas que poseen un núcleo con propiedades físicas o químicas diferentes a la cubierta. Éstas pueden funcionalizarse con moléculas biológicas (Lloret *et al.*, 2007; Calvo y Avilés, 2013) (Figura 2 B y C).

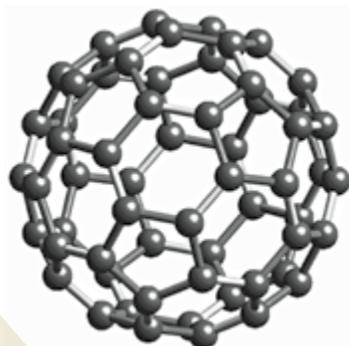
Dendrímeros. Polímeros con numerosas ramas de dimensiones nanométricas, con funciones químicas específicas (Blanco *et al.*, 2011) (Figura 2 D).

Nanocápsulas. Reservorio o cápsula polimérica, conteniendo el principio o material activo en un núcleo sólido, líquido o bien adsorbido en la pared polimérica de la nanocápsula (Figura 2 E, F).

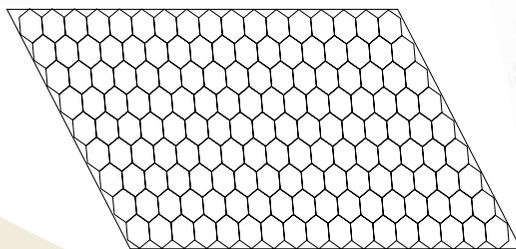
Nanoesferas. Esferas matriciales formadas por macromoléculas naturales, lípidos o polímeros sintéticos, cuyo principio activo se encuentra disperso en la matriz. La matriz puede albergar nano dominios (Blanco *et al.*, 2011) (Figura 2 G, H).

¿Qué es la nanotecnología?

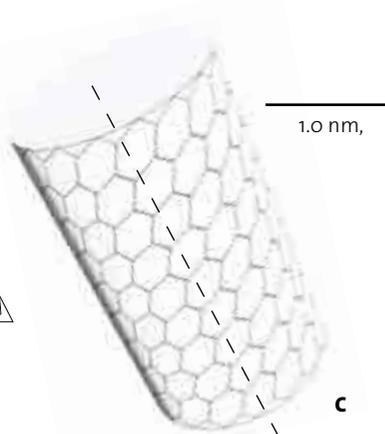
La nanotecnología es un campo de las ciencias aplicadas, enfocada al diseño, síntesis, caracterización y aplicación de materiales en escala nanométrica (1 y 100 nm) para el desarrollo de máquinas, herramientas y procedimientos al servicio del ser humano (Pradeep, 2008). Aunque la nanotecnología no ha llegado a un



A



B



C

Figura 1. A: Esferas de carbono “Buckyball”. La distancia alrededor de esta esfera es de 3,5 nm. B: Lámina de grafeno C: Nanotubo de carbono, fullereno.

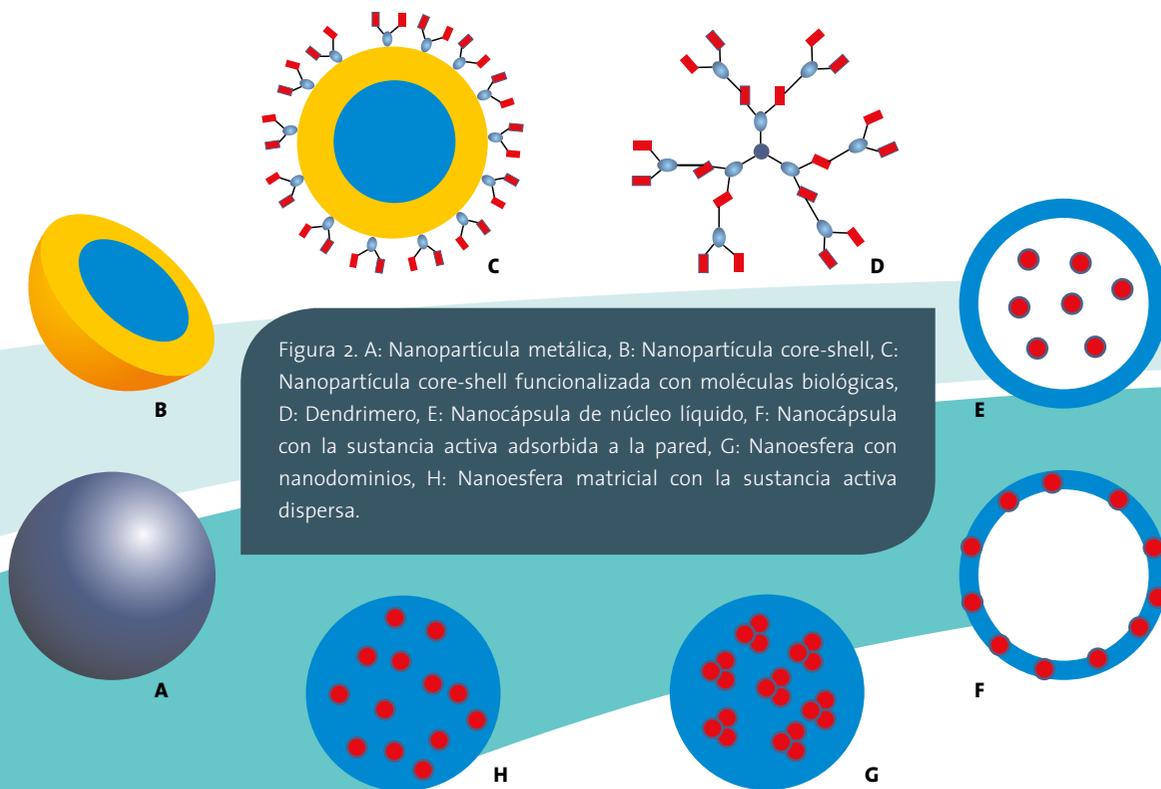


Figura 2. A: Nanopartícula metálica, B: Nanopartícula core-shell, C: Nanopartícula core-shell funcionalizada con moléculas biológicas, D: Dendrimer, E: Nanocápsula de núcleo líquido, F: Nanocápsula con la sustancia activa adsorbida a la pared, G: Nanoesfera con nanodominios, H: Nanoesfera matricial con la sustancia activa dispersa.

estado de completo desarrollo, los nanomateriales ya son usados en aplicaciones electrónicas, magnéticas, optoelectrónicas, biomédicas, farmacéuticas, cosméticas, energéticas y catalíticas (Navalakhe *et al.*, 2007; Liu 2006). Algunas aplicaciones específicas son: cintas de grabado magnético, bloqueadores solares, catalizadores de automóviles, fibras ópticas, marcado biológico y otros (Raimondi 2005); sin embargo, su aplicación en la agricultura ha recibido poca atención.

Con frecuencia, la producción de nanopartículas metálicas usa reactivos tóxicos que deterioran el ambiente. En la Línea Prioritaria de Investigación LPI-16: Innovación Tecnológica del Colegio de Postgraduados (COLPOS), entre otros proyectos, se investigan métodos para biosíntesis de partículas metálicas, usando extractos vegetales como una alternativa no tóxica. Prabhu *et al.* (2010) reportaron el potencial de los extractos vegetales en la síntesis de nanopartículas de plata (Ag). Sin embargo, el método que se desarrolla en el COLPOS produce nanopartículas de Ag pequeñas (5-10 nm) de tamaños uniformes, en una solución que las mantiene estables por más de 18 meses, además de ser un método muy económico de gran potencial tecnológico (Figura 3).

Las NPs de Ag poseen propiedades ópticas y antimicrobianas que pueden usarse para diagnóstico, terapia médica,

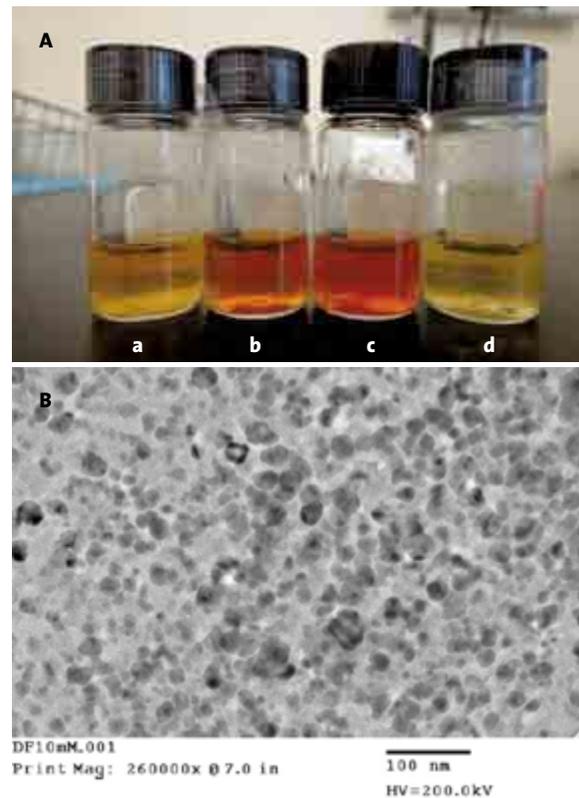


Figura 3. Nanopartículas de plata desarrolladas por la LPI-16 Luis Manuel Carrillo. A: Reducción en extractos acuosos (a y b), reducción en fracciones no polares (c y d). B: Nanopartículas de plata de 10 y 20 nm observadas con Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) campo claro.

recubrimiento de instrumental quirúrgico, componente en ropa y pintura antiséptica, nano recubrimientos de refrigeradores, y en nano empaques de hortalizas (Joshi *et al.*, 2008; Kole *et al.*, 2013). De la aplicación de nanomateriales de carbono en la agricultura se conoce poco, pero estudios realizados por Khodakovskaya *et al.* (2009) y Kole *et al.* (2013) han demostrado que el fullerol $C_{60}(OH)_{20}$, derivado del fullereno pero soluble en agua, puede aumentar significativamente la biomasa, producción de frutos, concentraciones de cucurbitacina, licopeno y charantin en tomate (*Solanum lycopersicum*), y melón amargo (*Momordica charantia*), sugiriendo un papel prometedor en la producción de alimentos.

Por otra parte, la función fitotóxica de NPs de TiO_2 , CeO_2 , Fe_3O_4 , and ZnO , Au, Ag, Cu y Fe se ha investigado con resultados polémicos, por lo que la absorción, bioacumulación, biotransformación y riesgos de nanomateriales en cultivos alimenticios no es bien conocida (Rico *et al.*, 2011).

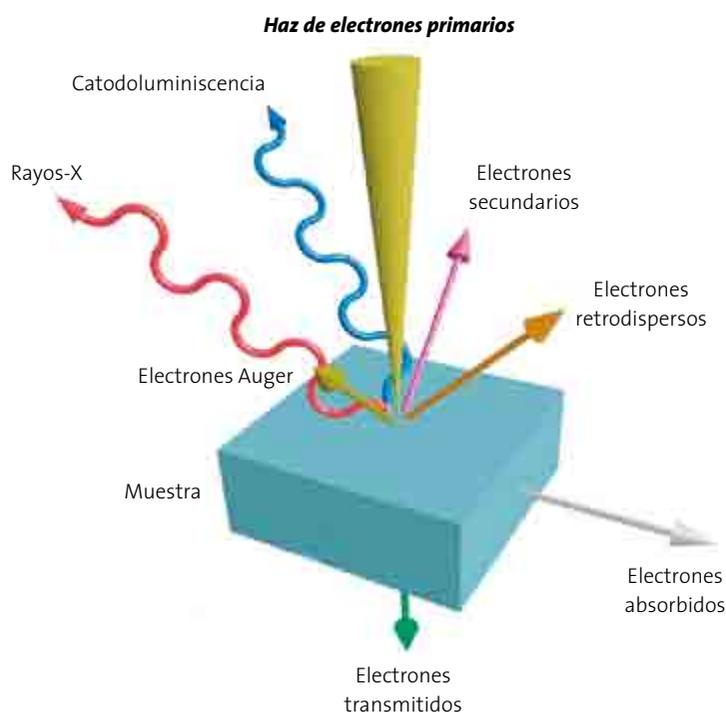


Figura 4. Interacción de electrones primarios bombardeados a la muestra. Electrones secundarios: topografía de la superficie de la muestra (MEB), Electrones transmitidos: Estructura interna, orientación e identificación de cristales y análisis elemental (TEM, STEM), Rayos X Microanálisis y distribución de elementos. Electrones retrodispersados: número atómico (MEB) e información cristalográfica. Electrones Auger: Información química de capas superficiales. Electrones absorbidos: estructura interna de semiconductores.

Técnicas para medir y caracterizar nanopartículas

Caracterización por Microscopía Electrónica

Los microscopios ópticos se emplean para observar materiales de tamaño micrométrico. La resolución no puede mejorarse en los microscopios ópticos, debido a las aberraciones y al límite en la longitud de onda de la luz blanca (400-700 nm) con la que se ilumina el objeto. En contraste, los microscopios electrónicos usan un haz de electrones (e^-) fuertemente acelerados, cuya longitud de onda (0.004 nm a 100 kV) es mucho menor que la de la luz visible e incluso que la de la luz ultravioleta (300-400 nm), de tal forma que los microscopios electrónicos pueden observar objetos en la escala nanométrica. Dentro de los más conocidos se encuentran el Microscopio Electrónico de Transmisión (MET) y el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB). En ambos tipos, la fuente de iluminación es un cañón de electrones que produce electrones primarios (e^-), los cuales son acelerados y bombardeados hacia la muestra, a través de una columna al alto vacío (0.0000027 Pa) que al interactuar con la muestra generan una serie de señales que dan información del material en observación (Bozzola y Russell, 1922) (Figura 4).

Microscopía electrónica de transmisión (MET)

Esta es una técnica en la que un haz de electrones es transmitido a través de un espécimen ultra delgado (nm de grosor). La información que se usa es la de los electrones transmitidos; la imagen se magnifica y se enfoca por lentes magnéticas, y posteriormente se forma la imagen en una pantalla fluorescente. La resolución de los microscopios electrónicos también está determinada por el diámetro del haz de electrones. De esta manera se han desarrollado microscopios de alta resolución, cuya distancia de punto a punto puede ser de 0.19 nm, logrando magnificaciones de 8 000 000 X (Joshi *et al.*, 2007). La Figura 5 muestra un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución JEOL 2010-F, el cual posee un cañón de emisión de campo de 200 kV y es capaz de observar los átomos en la muestra.

El contraste en una imagen de MET no es igual al de una de un microscopio de luz. En MET, la muestra cristalina interactúa con el haz de electrones, en su mayoría por difracción más que por absorción. La intensidad de la difracción depende de la orientación de los planos de los átomos en un cristal en relación con el haz de electrones. A ciertos ángulos, el haz de electrones es difractado fuertemente desde el eje del haz entrante, mientras que a otros ángulos el haz es en gran parte transmitido. Los MET modernos están equipados con porta muestras que permiten inclinar

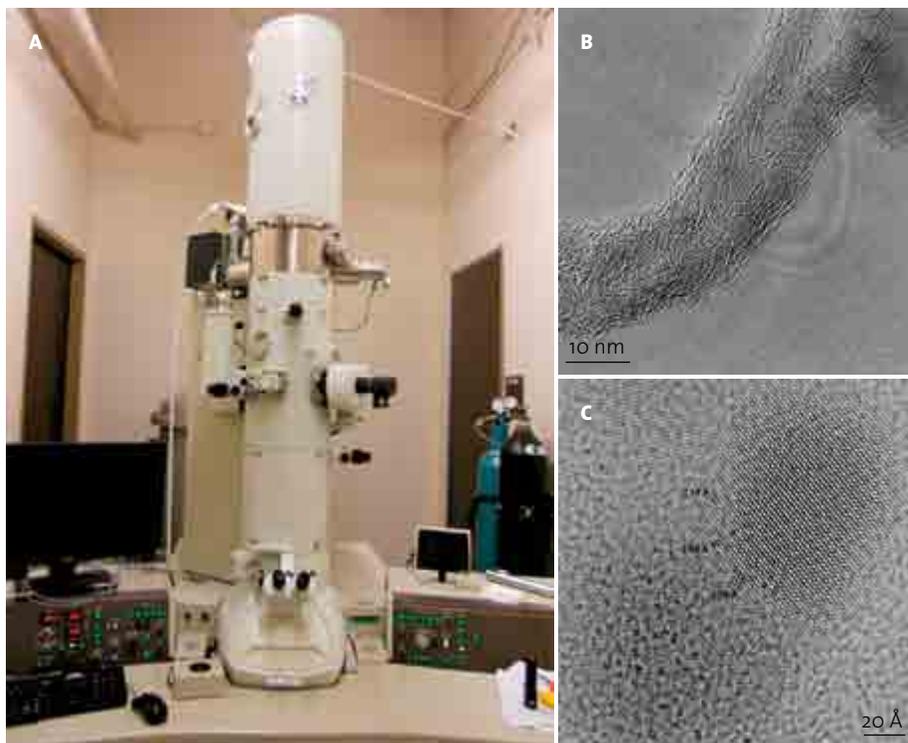


Figura 5. A: Microscopio Electrónico de Transmisión de alta resolución Jeol 2010-F. (Cortesía del Dr. Miguel José Jacamán, Kleberg Advanced Microscopy Center, University of Texas at San Antonio USA. B: Imagen de alta resolución de un nanotubo de carbono y C: distancias interplanales de una nanopartícula de Ni-Pt/SiO₂. Cortesías del Dr. Jesús Arenas a la Torre, Instituto de Física, UNAM, México.

gura 5 está equipado con un detector campo-oscuro anular de alto-ángulo (HAADF, en inglés) y con detectores de campo oscuro, campo claro de bajo ángulo, para imágenes de microscopía electrónica de transmisión y barrido (STEM, en inglés) (Joshi *et al.*, 2007).

Microscopía electrónica de barrido (MEB)

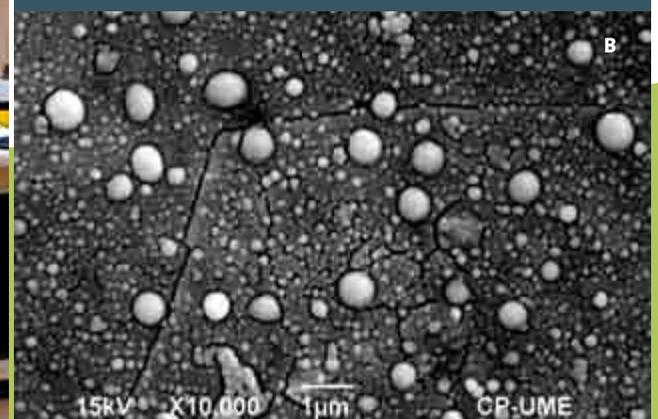
El Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) utiliza un haz de electrones que “escanea” en forma de zig-zag la superficie de la muestra, produciendo un gran número de señales (Figura 4). La señal más usada para la formación de imágenes en el MEB son los electrones secundarios, que son de baja energía (3-5 eV); debido a esta

el espécimen en un rango de ángulos que permiten obtener condiciones de difracción específicas. Por ello, se puede formar una imagen de alto contraste, bloqueando los electrones desviados fuera del eje óptico del microscopio mediante la colocación de la apertura, para permitir solamente los electrones no dispersados. Esto produce una variación en la intensi-

dad electrónica que revela información sobre la estructura del cristal. Esta técnica, sensible a defectos en la red cristalina ampliada, es conocida como campo claro o campo luz. También es posible producir una imagen de electrones desviados por un plano cristalino particular, lo cual se conoce como imagen de campo oscuro. El microscopio que se muestra en la Fi-



Figura 6. A: Microscopio Electrónico de Barrido Jeol JSM 6390 en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados. B: Nanocápsulas de selenio y Eudragit capturadas en el JSM 6390. (Atmir Romero y Efrén Ibriescas) y (Zavaleta *et al.*, 2010).



característica los electrones son atraídos fácilmente hacia el detector, cuya señal se convierte después en una imagen visible (Bozzola y Russell, 1992). Un MEB convencional puede alcanzar hasta una resolución de 3 nm, dependiendo de la conductividad de la muestra. El MEB tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra, dando la apariencia de 3D (Figura 6).

Muchos nanomateriales conductores (nanopartículas metálicas) y nanotubos de carbón pueden ser observados directamente sin preparación. Otros nanomateriales no conductivos, como las microcápsulas o nanopartículas orgánicas, requieren ser recubiertas con un material conductor (oro-paladio), o bien, ser observadas en modo de bajo vacío. Otra modalidad del MEB es el microscopio de Alta Resolución o de Emisión de Campo (HRSEM). Este equipo puede alcanzar 150 mil aumentos y el poder de resolución es de 30 Amstrong (Å) (Figura 7).

Microscopía de prueba de barrido (fuerza atómica y tunelaje)

Cuando se habla de Microscopía de Prueba de Barrido (SPM, del inglés: Scanning Probe Microscopy), se refiere ya sea a Microscopía de Barrido por Tunelaje (STM, del inglés: Scanning Tunneling Microscopy) o a Microscopía de Fuerza Atómica (AFM, del inglés Atomic Force Microscopy).

Microscopía de Barrido por Tunelaje (STM)

El Microscopio de Barrido por Tunelaje (STM) fue desarrollado en 1981 por Gerd Benning y Heinrich Rohrer en los laboratorios

de IBM de Zurich, Suiza. Ello les valió el Premio Nobel de Física, en 1986. Esta técnica permite observar átomos individuales en superficies metálicas, además de proporcionar un perfil tridimensional de la superficie de la muestra. Esta técnica es muy útil en la caracterización de agregados, textura y defectos superficiales de los metales, pero sólo es útil en materiales conductores (Goodhew y Humphreys, 1988). En un STM, una punta piezoeléctrica detectora (platino-Iridio-oro) y el metal a analizar, separados por un vacío, se aproximan. Los electrones no tienen la suficiente energía para escapar a través del vacío, pero puede darse un intercambio de electrones entre ambos metales por un efecto túnel si se encuentran suficientemente próximos. La imagen se forma al barrer la punta detectora del STM a la superficie del metal.

Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

Posteriormente, en 1985, Benning y Rohrer construyeron el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM); instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nano newtons. Al analizar una muestra se registran las diferencias de altura entre el objeto de estudio y una

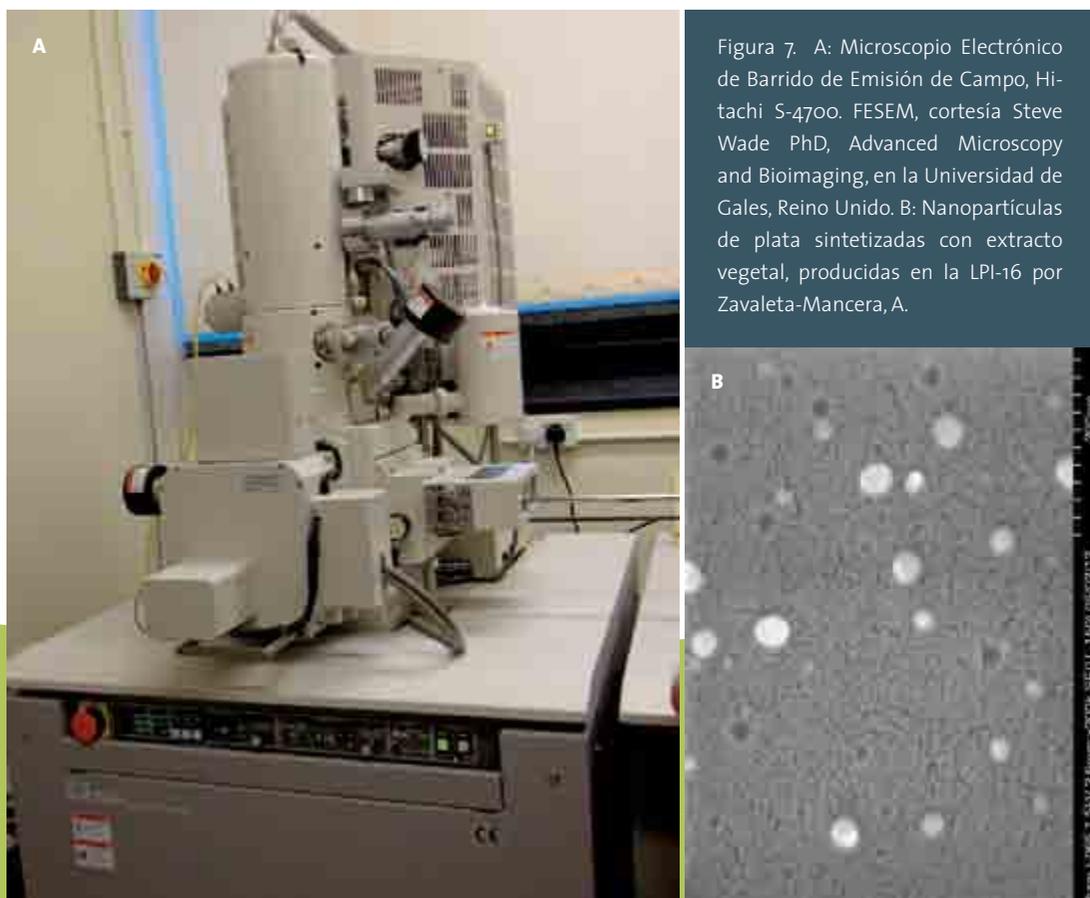
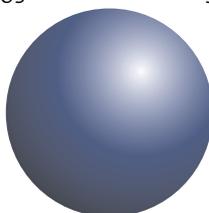


Figura 7. A: Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo, Hitachi S-4700. FESEM, cortesía Steve Wade PhD, Advanced Microscopy and Bioimaging, en la Universidad de Gales, Reino Unido. B: Nanopartículas de plata sintetizadas con extracto vegetal, producidas en la LPI-16 por Zavaleta-Mancera, A.

punta cristalina de forma piramidal acoplada a un listón microscópico (“cantiliver”), muy sensible al efecto de las fuerzas y de sólo unos 200 μm de longitud (Goodhew y Humphreys, 1988).

La fuerza atómica es detectada cuando la punta está muy próxima a la superficie de la muestra; entonces, es posible registrar la pequeña flexión del listón mediante un haz láser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre la superficie de forma ordenada. La resolución del instrumento es de aproximadamente 0.2 nm (Figura 8).

Espectroscopía de absorción de rayos-X

La espectroscopía de absorción de rayos-X (XAS por sus siglas en inglés) es una técnica ampliamente usada para la determinación del tamaño de partícula y del ambiente químico que la rodea (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005; López *et al.*, 2005). Los experimentos se llevan a cabo con radiación proveniente de un sincrotrón (Figura 9), la cual provee un haz intenso y sintonizable de rayos-X. Existen dos modalidades de esta técnica: XANES, que es una técnica sensible al estado de oxidación, simetría puntual, configuración electrónica



Figura 8. Textura de un portaobjetos de vidrio visto analizada con un Microscopio de Fuerza Atómica (AFM).

y el ambiente de coordinación de la especie absorbente; y EXAFS, que es más sensitiva a las distancias interatómicas, número de coordinación, desorden térmico y estructura, así como a las especies vecinas del absorbente (Jentys *et al.*, 2000; López *et al.*, 2005).

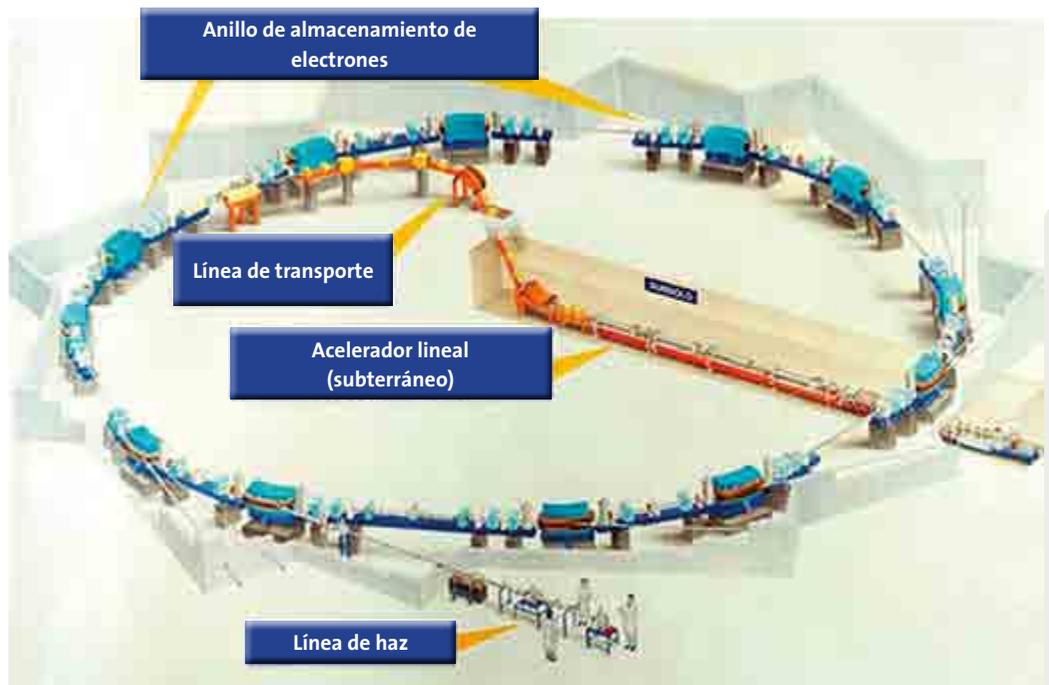


Figura 9. Esquema de un sincrotrón. Espectroscopía de absorción de rayos-X.

Mediciones con un nanoseizer

El principio de esta técnica se basa en la medición de la dispersión o movimiento de las nanopartículas, la cual se mide comúnmente con una técnica no invasiva denominada Dispersión de Luz Dinámica “Dynamic Light Scattering (DLS)”, también referida como Espectroscopía de correlación fotónica (Photon Correlation Spectroscopy) PCS o Quasi-Elastic Light Scattering (QELS). En términos más sencillos, la técnica usa el Movimiento Browniano que tienen las nanopartículas al moverse o difundirse como una consecuencia de las colisiones con el solvente.

Este movimiento también está en función de la

temperatura y la viscosidad del solvente. La Línea Prioritaria de Investigación LPI-16 Innovación tecnológica, cuenta con un NanoZeiser (ZEN 3600) que mide tamaño de partícula, potencial Z, y peso molecular.

AGRADECIMIENTOS

La Unidad de Microscopia Electrónica agradece a la LPI-16 por la adquisición del Microscopio Electronico de Barrido Jeol JSM 6390 y el Microanalizador elemental de rayos X (EDX) IBCAx-act.

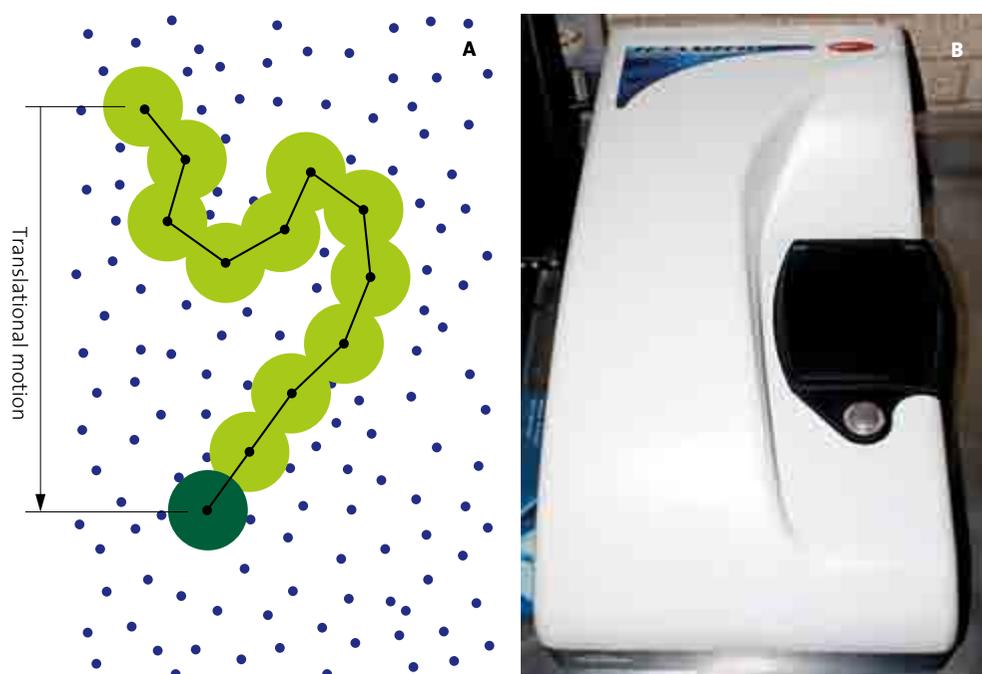


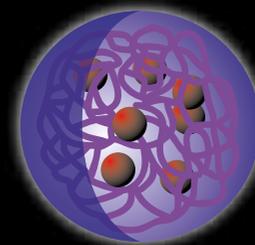
Figura 10. A: Principio de medición del Nanoseizer, movimiento Browniano. Cortesía. Marlvern Instruments. B: Nanoseizer ZEN 3600 equipo de medición de nanopartículas del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo LPI-16.

LITERATURA CITADA

- Cerpa A., Kober M., Calle D., Negri V., Gavira J.M., Hernanz A., Briones F., Cerdán y Ballesteros S.P.. 2013.. "Single-walled carbon nanotubes as anisotropic relaxation probes for magnetic resonance imaging". *Med. Chem. Comm* ,
- Blanco E., Hsiao A., Mann A.P., Landry M.G., MericF., Ferrai M., 2011. Nanomedicine in cancer Therapy: Innovartive trends and prospects. *Cancer Science*. 102 (7): 1247-1252.
- Bozzola J.J. and Russell L.D. 1992. *Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists*. Ed. Jones and Bartlett. Boston. 542 p.
- Calvo P., Avilés P. 2013. A new potential nano-oncological therapy based on polyamino acid nanocapsules. *Journal of Controlled Release* 169:10-16.
- Gardea-Torresdey J.L, Peralta-Videa J.R., Rosa G., Parsons J.G. 2005 Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews* 249: 1797-1810.
- Gharbi N., Pressac M., Hadchouel M., Szwarc H., Wilson S.R., Mousa F. 2005. Fullerene is a powerfull antioxidant in vivo with no acute or subacute toxicity. *Nano Letters* 5:2578-2585.
- Goodhew P.J. and Humphreys F.J. 1988. *Electron Microscopy and Analysis*, Edit. Taylor & Francis, London.
- Grassian V. H.. 2008 . When size really matters: size-dependent properties and surface chemistry of metal and metal oxide nanoparticles in gas and liquid phase environments. *Journal of Physical Chemistry* 112 (47): 18303-18313.
- Hernando-Grande A. 2007. Nanotecnologíay nanopartículas magnéticas: la Física actual en lucha contra la enfermedad. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat.* 101 (2):321-327.
- Jentys, L. Simon, J.A. Lercher. 2000. On the Determination of the Location of Metal Clusters Supported on Molecular Sieves by X-ray Absorption Spectroscopy. *Journal of Physics and Chemistry* 104: 9411.
- Joshi M., A. Bhattacharyya and S. Wazed Ali. 2008. Characterization Techniques for nanotechnology Applications in Textiles. *Indian Journal of Fibre and Textile Research* 33, 304-317. pp.304-317
- Khodakovskaya M., Dervishi E., Mahmood M., Xu Y., Li Z., Watanabe F., Biris A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano* 3: 3221-3227.
- Kole Ch., Kole P., Randunu K.M., Choudhary P., Podila R., Chun Ke P., Rao A.M., Marcus R.K. 2013. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: fist evidence for increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melón (*Momordica charantia*). *BMC Biotechnology* 13: 37-46.
- Liu WT. 2006. Nanoparticles and their biological and environmental applications. *Journal Bioscience Bioenetic* 102(1):1-7.
- López M.L., Parsons J.G., Peralta Videa J.R, Gardea-Torresdey J.L. 2005. An XAS study of the binding and reduction of Au (III) by hop biomass. *Microchemical Journal* 81: 50-56.
- Navalakhe R.M, Nandedkar T.D 2007. Application of nanotechnology in biomedicine. *Indian Journal Experimental Biology* 45(2):160-165.
- Philip Y. (2011) Descubrimiento de las buckybolos y los nanotubos. *Investigación y Ciencia* Noviembre 422: p5.
- Poole, C. and Owens F. 2007. *Introducción a la Nanotecnología*. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Prabhu N, Divya R., Yamuna K., Siddiqua S, Puspha I.P. 2010. Synthesis of silver phyto nanoparticles and their antibacterial efficacy. *Digest Journal Nanomater Biostructure* 5:185-189.
- Pradeep T. 2008. *Nano the essentials understanding nanociencia and nanotechnology*. New Delhi: MacGraw-Hill. Publishing Company Limited;
- Rico C.M., Majimdar S., Duarte-Gardea M., Peralta-Videa J and Gardea-Rorresdey J.L. 2011. Interaction of Nanoparticles with Edible Plants and Their Possible Implications in the Food Chain. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 59:3485-3498.
- Zavaleta-Mancera H.A., G. Hanako, E. Ramírez-Bribiesca, E. García-García, Wade S.C.. 2010 Looking at organic nanoparticles with SEM, CRIOSEM and HRSEM. *Microscopy and Microanálisis*. Vol 16: 1168-1169

Micro y nano

encapsulación para la liberación controlada de compuestos en la producción pecuaria: Caso selenio



Cedillo-Galindo, N.^{1, 4}; Sánchez-Torres, M.T.^{1, 4}; Miranda-Jiménez, L.^{1, 4};
Méndez-Rojas, M.A.²; Figueroa-Velasco, J.L.¹; Peralta-Ortiz, J.³

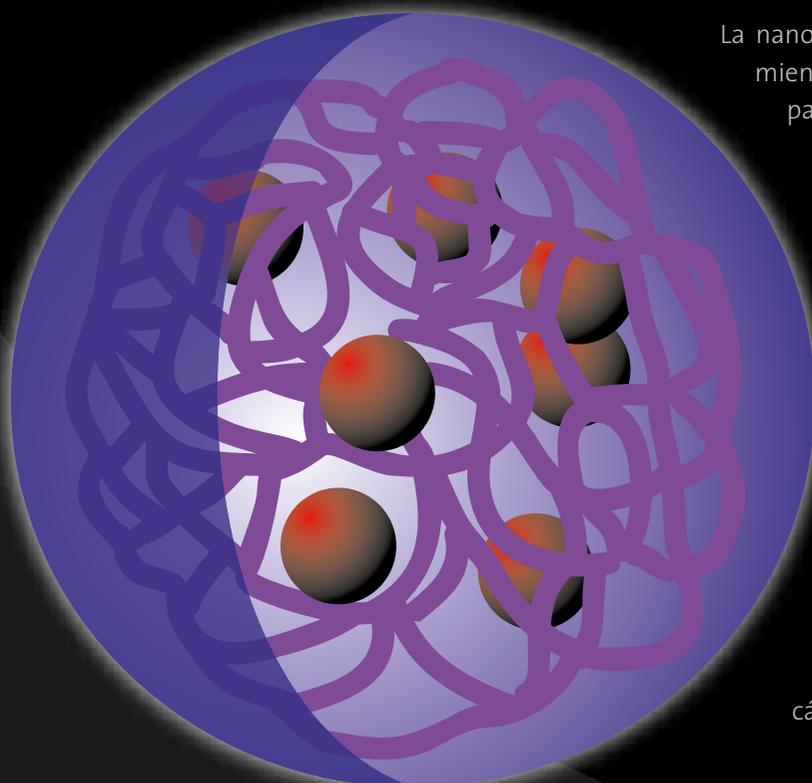
¹Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados. *Campus* Montecillo. Texcoco, Estado de México. México. ²Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad de las Américas, Puebla. San Andrés Cholula, Puebla, México. ³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. ⁴LPI-16 Innovación Tecnológica Colegio de Postgraduados.

Autor Responsable: teresa@colpos.mx

RESUMEN

La nanociencia y la nanotecnología son áreas del conocimiento que estudian de manera interdisciplinaria la preparación y manipulación de materiales con dimensiones de entre 1 y 100 nm, así como la búsqueda de nuevas aplicaciones tecnológicas a dichos materiales. Éstas ofrecen un panorama muy prometedor por las potenciales aplicaciones que puede llegar a tener en distintos campos; entre ellos, la industria agropecuaria. En este artículo se mencionan diferentes metodologías de preparación de microcápsulas y su posible aplicación en el campo pecuario, mediante la encapsulación del selenio y su utilización de forma específica en el sitio de acción, reduciendo con ello la cantidad a utilizarse y evitar su toxicidad.

Palabras clave: Nanotecnología, pecuaria, microcápsulas, micropartículas.



INTRODUCCIÓN

La nanociencia y la nanotecnología buscan diseñar y preparar nuevos nanomateriales que prometen impactar de forma revolucionaria ámbitos como el médico, farmacéutico, textil, alimenticio, electrónico, materiales de construcción, plásticos, mejora medioambiental, además de productos de uso cotidiano como los cosméticos y, por supuesto, en la agricultura y la ganadería (Yáñez, 2002; Molins, 2008; Delgado, 2009; Coppo, 2009; Parra, 2010).

Algunas de las aplicaciones de la microencapsulación en la producción animal incluyen el desarrollo de herra-

mientas moleculares y celulares, como en la reproducción animal, la bioseguridad de los alimentos de origen animal, nanochips para la identificación animal, nanopartículas para la administración de fármacos y vacunas, sensores para la detección y diagnóstico diferencial de enfermedades, así como en el desarrollo de nuevos tratamientos (Coppo, 2009). En esta breve revisión se describen de forma general los métodos de encapsulación utilizados en la nanotecnología y su aplicación en la producción pecuaria, con énfasis en la encapsulación de selenio (**Se**).

En la industria pecuaria la nanotecnología abre nuevas expectativas en el campo de la nanomedicina, donde ciertos nanomateriales tienen el potencial de poder ser empleados para el transporte y la liberación controlada y espe-

cífica de medicamentos (Figura 1). Por ejemplo, se han creado nanopartículas funcionalizadas químicamente que imitan la superficie de la membrana celular de los enterocitos del pollo. Éstas se proporcionan por vía oral y llegan al intestino y al contacto con algún germen; las partículas se aglomeran, envolviendo al microorganismo, para después aglutinarse unas con otras y terminar siendo eliminadas a través de las evacuaciones, convirtiéndose en nanopartículas “partícula inteligente” capaces de proteger al ave de enfermedades infecciosas. Otro ejemplo es el reemplazo de la vacuna tradicional contra la fiebre aftosa, para lo cual se han conjugado péptidos con nanopartículas inertes que provocan respuestas inmunes celulares y humorales en ovejas (Coppo, 2009).

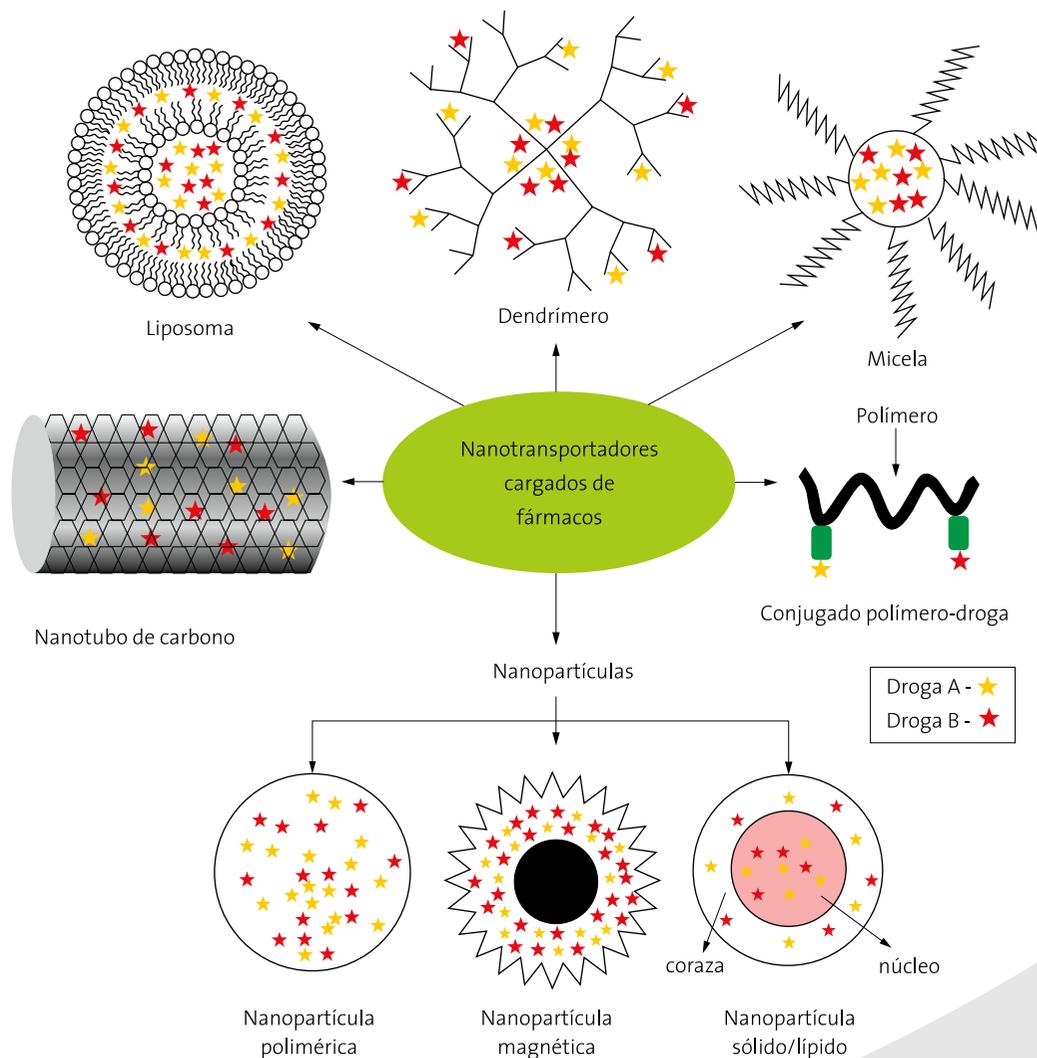


Figura 1. Distintos tipos de agentes de transporte y liberación de moléculas, empleando nanoestructuras (adaptado de Parhi *et al.*, 2012).

Nanopartículas como los dendrímeros pueden ser útiles para el diagnóstico y erradicación de tumores malignos y otras enfermedades de pequeños animales, dado que su tamaño les permite actuar como sistemas de transporte y entrega de agentes quimioterapéuticos, isótopos radioactivos y productos medicamentosos dentro de microvasculaturas de tumores o de sistemas complicados (Mistry *et al.*, 2009). Otras partículas que pueden utilizarse en la liberación controlada de sustancias son los nanotubos de carbono (Figura 2), además de partículas con estructura core-shell (coraza-núcleo) (Figura 3), de manera que combinen alguna propiedad física útil del material en el núcleo (como absorción en el infrarrojo, porosidad o magnetismo) con la propiedad física del material que la recubre (biocompatibilidad, luminiscencia, capacidad de reconocimiento celular). Estas combinaciones de propiedades pueden ser explotadas para desarrollar nanomateriales que se empleen en animales y que sean capaces de buscar y destruir determinadas células blanco, causantes de enfermedades o distintas patologías (Coppo, 2009).

Numerosas investigaciones se encaminan al diseño y desarrollo de nuevos materiales que puedan ser empleados como sistemas de transporte y liberación controlada de moléculas, que posean alta especificidad para reconocer el lugar donde serán aplicados, y que además no presenten efectos tóxicos. Una metodología exitosa para su producción es la técnica denominada microencapsulación y, de acuerdo con su manufactura, pueden ser poliméricas, micelas, óxidos metálicos y metales, las cuáles pueden ser clasificadas en micro y nanopartículas, dependiendo de sus dimensiones.

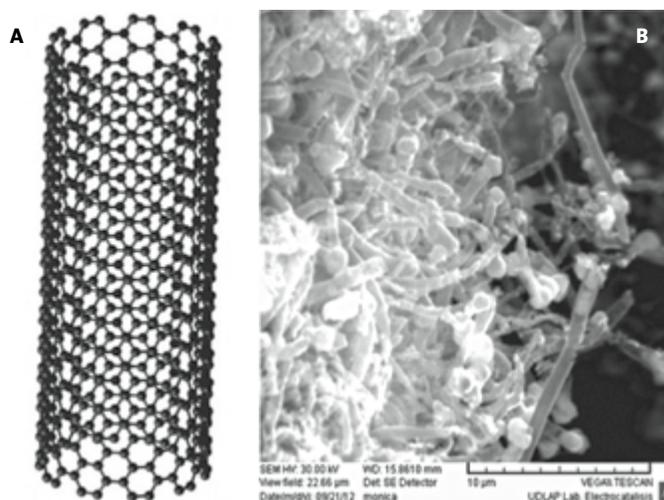
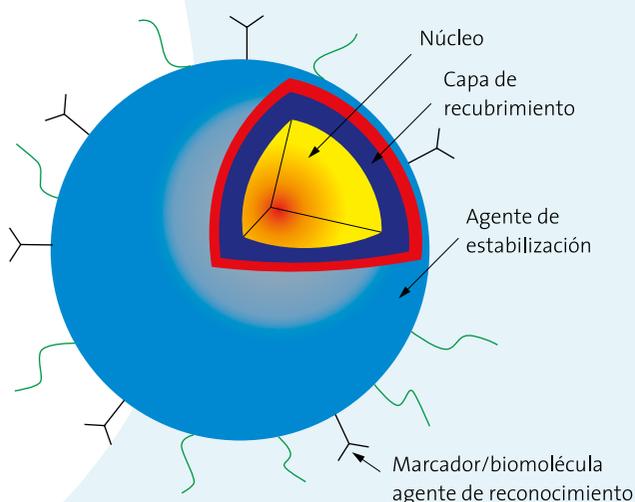


Figura 2. (A) nanotubo de carbono (fuente: Coppo *et al.*, 2009); (B) nanotubos de carbono producidos por irradiación de microondas. Micrografía obtenida por microscopía electrónica de barrido (fuente: Laboratorio de Investigación en Nanoquímica, UDLAP).

Micropartículas

Son partículas poliméricas esféricas, cuyo diámetro oscila entre 100 y 250 μm . Dentro de este grupo se incluyen las *microcápsulas*, que son sistemas vesiculares en los que la sustancia a encapsular está rodeada de una única membrana polimérica.

Microesferas

Son sistemas matrices en los que la sustancia a encapsular está dispersa en la partícula (Figura 4). Las *microcápsulas* pueden ser simples, irregulares, de doble pared, con varios núcleos, o estar formadas por el agrupamiento de otras *microcápsulas* (Arshady, 1993).

Microencapsulación

La microencapsulación o encapsulación es una técnica por la cual un material biológicamente activo en algún estado de agregación (sólido, líquido o gaseoso) es recubierto con una película polimérica porosa, hidrofóbica y/o hidrofílica, que permita el intercambio libre de moléculas entre el interior del sistema y sus alrededores mediante difusión,

Figura 3. Nanopartícula de ingeniería, con estructura core-shell (núcleo-coraza) (Fuente: Laboratorio de Investigación en Nanoquímica, UDLAP)

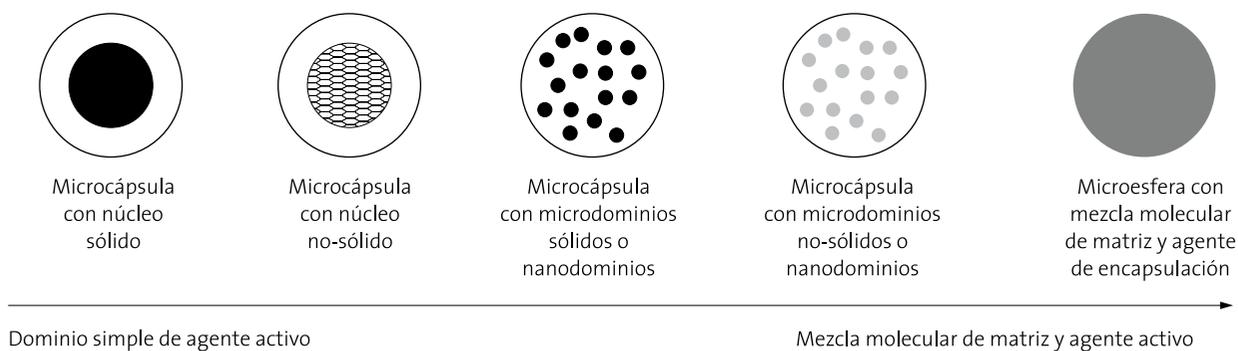


Figura 4. Tipos de microcápsulas y microsferas (adaptado de Singh *et al.*, 2010).

y que al mismo tiempo impide la entrada de componentes del sistema inmune luego de su administración *in vivo* (Lozano, 2009). El compuesto encapsulado se liberará gradualmente a través de las paredes de la cápsula que lo rodea bajo condiciones controladas, además de no reaccionar con el material a encapsular (Figura 5) (Pedroza-Islas, 2002; Yáñez-Fernández *et al.*, 2002; Parra, 2010).

Los métodos más empleados para la obtención de nanocápsulas han sido previamente revisados por Pinto Reis *et al.* (2006), y entre los métodos que presentan mayor eficiencia de encapsulación y mayor simplicidad de procesamiento se encuentra la polimeri-

zación por emulsión, polimerización interfacial, emulsificación/evaporación del disolvente, y la emulsificación/difusión del disolvente.

Procesos de microencapsulación

Actualmente se han identificado más de 200 diferentes métodos de encapsulación, los cuales se resumen de manera general en la Figura 6.

Microencapsulación de selenio

La micro y nano-encapsulación se pudieran usar en la industria pecuaria, para la administración de elementos minerales que son requeridos por el organismo animal en cantidades muy

pequeñas. Este podría ser el caso del selenio (**Se**), elemento implicado en varios procesos fisiológicos, entre los que se encuentran una función antioxidante, de defensa, o bien, en la prevención del cáncer, enfermedades cardiovasculares, mutación viral, enfermedad neural y artritis reumatoide, y se considera un elemento esencial para la función óptima del sistema endocrino, ya que interviene en la producción de hormonas tiroideas y sistema inmunológico, además de moderar la respuesta inflamatoria y colaborar en la síntesis de ADN y la reproducción tanto en hembras como en machos (Basini y Tamanini, 2000; Lussier *et al.*, 2003; Rayman, 2004; Thomson, 2004; Beckett y Arthur,

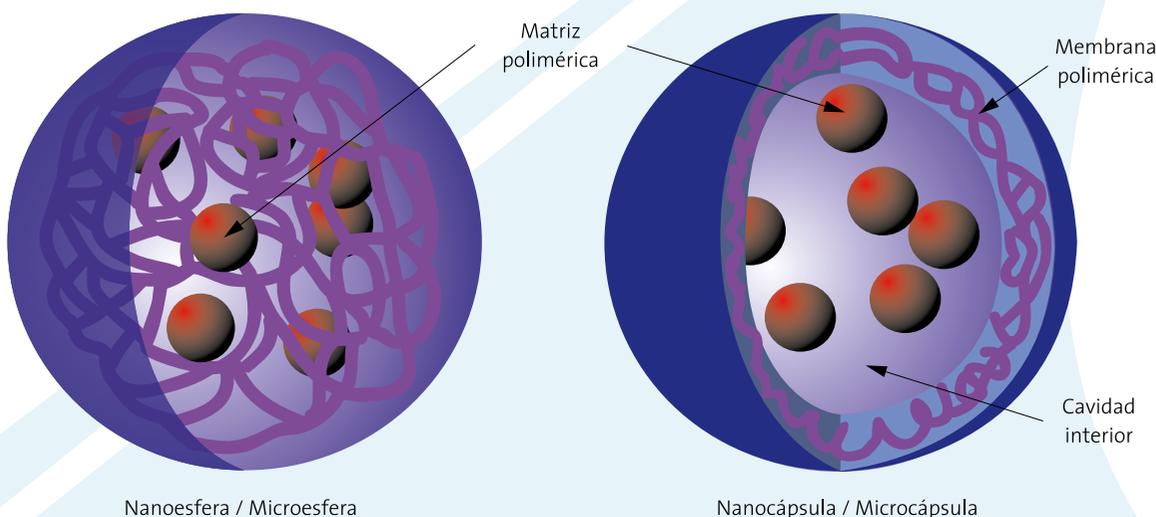


Figura 5. Esquema de nano/micro-esferas y nano/micro- cápsulas (adaptado de Bei *et al.*, 2010).

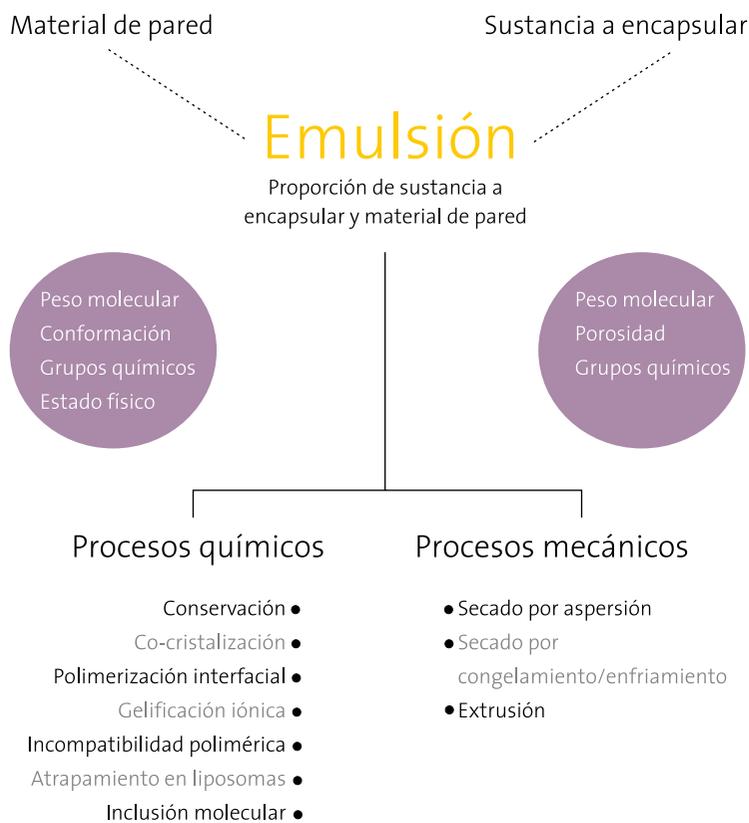


Figura 6. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación (adaptado de Parra, 2010).

Cuadro 1. Enfermedades relacionadas con la deficiencia de selenio. Modificado de Acosta (2007) y Combs y Combs (1986).

Enfermedades	Especie	Sistema/órgano afectado
Necrosis hepática	Rata, conejo, cerdo y pollo	Hígado
Distrofia muscular	Cerdos, vacas, ovejas, pavos, patos, caballos y peces	Músculo esquelético
Microangiopatía	Cerdos	Corazón
Diatesis exudativa	Pollos y pavos	capilares subcutáneos
Fibrosis pancreática	Pollos	Páncreas
Retención placentaria, ovarios poliquísticos y reducción de fertilidad	Vacas	Útero, ovarios
Infertilidad	Ovejas	Ovarios
Enfermedad de Keshan	Hombre	
Cáncer y enfermedad cardiovascular	Hombre	
Enfermedades relacionadas con el sistema inmunológico	Todas las especies	

2005). En machos se ha demostrado que una deficiencia de **Se** causa mala calidad del espermatozoide y baja producción de esperma (Basini y Tamanini, 2000; Beckett y Arthur, 2005; Hefnawy y Tórtora-Pérez, 2010), mientras que en hembras su deficiencia aumenta la incidencia de quistes ováricos y retención placentaria (Basini y Tamanini, 2000; Smith y Akinbamijo, 2000), además de disminuir la fertilidad en bovinos y ovinos (Basini y Tamanini, 2000), por lo que el **Se** se ha utilizado para prevenir y tratar diferentes enfermedades (Cuadro 1).

A pesar de que la necesidad de Se en la nutrición humana y animal son bien conocidas, aún está en discusión cuál es la forma más apropiada de suplementarlo (“orgánico” o inorgánico); sin embargo, lo ideal es complementarlo en la forma en que se produce naturalmente en los alimentos, como selenometionina (Se-Met) (Schrauzer, 2000). Actualmente, la forma común de suplementar el selenio es en premezclas minerales, las cuáles contienen Se-met como componente principal.

En rumiantes, el **Se** de la dieta tiene baja absorción, puesto que es reducido a formas insolubles en el ambiente ruminal. Por ello, en el Colegio de Postgraduados (COLPOS) un grupo de investigadores de la Línea Prioritaria de Investigación Institucional “Innovación Tecnológica” (LPI-16), se han dado a la tarea de preparar y caracterizar micro y nanopartículas, conteniendo **Se** inorgánico, con la finalidad de administrarlas por vía oral a rumiantes (Romero Perez *et al.*, 2010) (Figura 7) y, actualmente, se encuentran desarrollando técnicas de micromanipulación de compuestos, como **fosfato de calcio y cápsulas de derivados de celulosa para su administración en aves**, así como partículas de selenometionina que permitan su liberación dirigida y controlada directamente en el aparato reproductor de pequeños rumiantes para mejorar la eficiencia reproductiva, utilizando como vehículo esponjas de poliuretano (Figura 8 A) aplicadas intravaginalmente con cavidades micrométricas (Figura 8 B).

CONCLUSIONES

La nanotecnología ofrece prometedoras ventajas para el proceso de transporte y liberación de fármacos directamente

en el sitio de acción. En el caso del selenio (**Se**), se reduce la cantidad de fármaco utilizado, haciendo más eficiente su administración y evitando toxicidad.

AGRADECIMIENTOS

A la Línea Prioritaria de Investigación e Innovación Tecnológica (LPI-16) del Colegio de Postgraduados y al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de las Américas, Puebla.

LITERATURA CITADA

- Acosta L. 2007. Laboratorio Santa Elena, Uruguay. Jefe de control de calidad de Laboratorio Santa Elena. (consultado en: www.produccion-animal.com.ar)
- Arshady R. and George M. H. 1993. Suspension, dispersion, and interfacial polycondensation: A methodological survey. *Polymer Engineering and Science*. Vol. 33 (14): 865-876.
- Basini G. and Tamanini, C. (2000). Selenium stimulates estradiol production in bovine granulosa cells: possible involvement of nitric oxide. *Domestic Animal Endocrinology*, 18(1), 1-17.
- Beckett G.J. and Arthur J.R. 2005. Selenium and endocrine systems: review. *Journal of Endocrinology* 184, 455-465.
- Bei D., Meng, J., Youan, B.C. 2010. Engineering nanomedicines for improved melanoma therapy: progress and promises. *Nanomedicine*, 5: 1385-1399.
- Combs G. F. Jr, and Combs S.B. 1986. The role of selenium in nutrition. Pp. 532.
- Coppo J.A. 2009. Nanotecnología, medicina veterinaria y producción agropecuaria. *Rev. Vet.* 20: 1, 61-71.
- Delgado G. C. 2009. Nanotecnología y producción de alimentos: impactos económicos, sociales y ambientales. *Estudios Sociales*, Vol. 17, Núm. 34: 186-205.
- Hefnawy A.E.G. and Tórtora-Pérez, J.L. 2010. The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research* 89: 185-192
- Lozano B. M. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Proyecto fin de carrera Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad en Química Industrial. Cartagena. Universidad politécnica de Cartagena. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. 68 p.
- Lussier C., Veiga V., Baldwin S. 2003. The geochemistry of selenium associated with coal waste in the Elk River Valley, Canada. *Environmental Geology*. 44: 905-913.
- Mistry A Stolnik S and Illum L. 2009. Nanoparticles for direct nose-to-brain delivery of drugs. *Int J Pharm* 6: 23-27.
- Molins R. 2008. Opportunities and Threats from Nanotechnology in Health, Food, Agriculture and the Environment. *Innovation and Technology*. Pp.38-53.
- Parhi P., Mohanty, C., Sahoo, S. K. 2012. Nanotechnology-based combinational drug delivery: an emerging approach for cancer therapy. *Drug Discov*. 17: 1044-1052.
- Parra H.R. 2010. Revisión: microencapsulación de alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63(2): 5669-5684.
- Pedroza-Islas R., 2002. Alimentos Microencapsulados: Particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

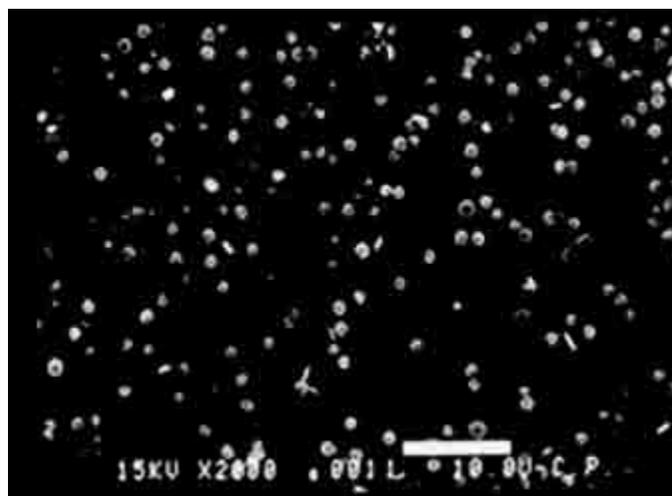


Figura 7. Micropartículas de selenito de sodio, observadas con Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). (Fuente Romero-Pérez et al., 2010).

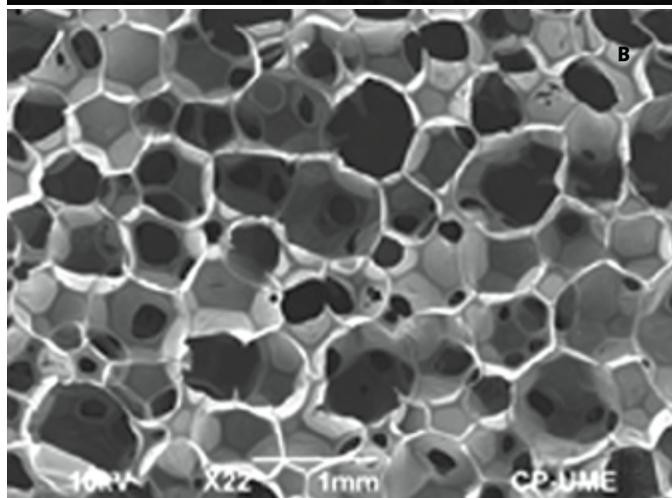
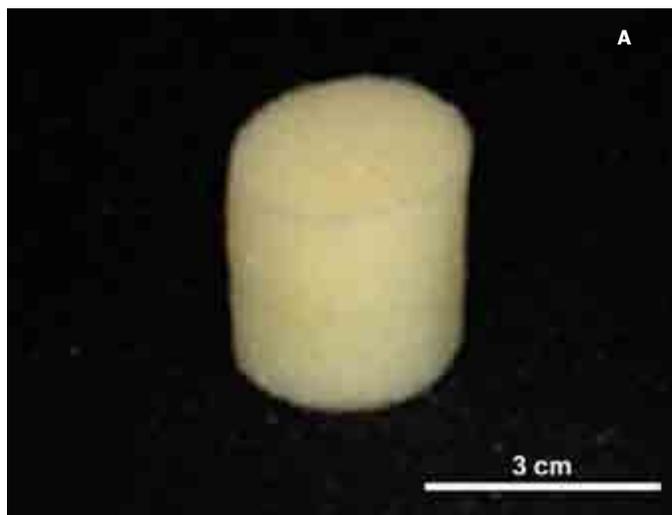


Figura 8. (A) Esponja intravaginal de poliuretano; (B) Micrografía Electrónica de Barrido de esponja de poliuretano (Unidad de Microscopía Electrónica COLPOS), vehículo en las investigaciones de Se del grupo (ETI) de la LPI-16.

- Pinto Reis C., Neufeld, R.J., Ribeiro, A.J., Veiga, F. 2006. Nanoencapsulation I. Methods for preparation of drug-loaded polymeric nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnol. Biol. Med.* 2: 8-21.
- Rayman M. P. 2004. The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up? *British Journal of Nutrition* 92, 557-573.
- Romero-Pérez A., García-García E., Zavaleta-Mancera A., Ramírez-Bribiesca J.E., Revilla-Vázquez A., Hernández-Calva L.M., López-Arellano R., Cruz-Monterrosa R.G. Designing and evaluation of sodium selenite nanoparticles. *Vet Res Commun* 34:71-79.
- Schrauzer G. 2000. Seleniomethionine: A review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J. Nutri.* 130:1653-1656.
- Singh M. N., Hemant, K. S., Ram, M., Shivakumar, H. G. 2010. Microencapsulation: a promising technique for controlled drug delivery. *Res. Pharm. Sci.* 5: 65-77.
- Smith O.B.; Akinbamijo O.O. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science* 60-61. Pp. 549-560.
- Thomson C.D. 2004. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *European Journal of Clinical Nutrition* 58, 391-402
- Yáñez Fernández J., Salazar-Montoya J.A., Chaires Martínez L., Jiménez Hernández J., Márquez Robles M. y Ramos Ramírez E.G. 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y Perspectiva* 21:313-19.
- Yáñez J., J. Salazar, L. Chaires, J. Jiménez, M. Márquez y E. Ramos. 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva* 21: 313-319.



A photograph showing several rows of solar panels mounted on metal frames in a rural, hilly landscape with green vegetation and a clear blue sky. The panels are tilted towards the sun.

Aquel individuo o comunidad en pobreza energética estará imposibilitado para generar riqueza de manera autónoma

RELATORÍA: LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SECTOR AGROPECUARIO

Lemus-Ramírez, M.A.¹; Acosta-Rojas, E.¹

¹Alzheimer Comunicación, S.A. de C.V. Av. Country Club 92, Col. Country Club, Coyoacán, México, D.F. CP. 04220.

Autor responsable: lemuspro@yahoo.com.mx

INTRODUCCIÓN

Al finalizar la segunda semana de enero, abrí mi cuenta de correo y leí con gran preocupación un mensaje enviado por Sandra Luna, integrante de la **Red por la Transición Energética**. Esa nota periodística recoge las declaraciones del presidente del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de la ONU (IPCC, siglas en inglés) Rajendra Pachauri, quien alerta sobre la inequívoca tendencia mundial hacia un acelerado incremento del Calentamiento Global: **“el mundo está en camino de registrar un aumento en la temperatura de entre 1.1 y 6.4 grados Celsius, en función del crecimiento económico”**. Pachauri participó junto a 250 científicos internacionales en la reunión del IPCC que se celebró en la ciudad australiana de Hobart para preparar el quinto informe sobre cambio climático para la ONU. Todos los satisfactores, en su elaboración y consumo, demandan ciertos niveles de generación energética pero, ante el incremento poblacional, la producción de satisfactores: alimentarios, de vivienda, agua, transporte, escuelas, hospitales, y un largo etcétera, los escenarios son pesimistas. La disyuntiva es si se continúa por el mismo camino utilizando combustibles fósiles, o si se intenta transitar hacia las fuentes de energía renovable, adicionando una eficiencia energética con criterios de sostenibilidad. El IPCC es el principal organismo mundial de valoración del Cambio Climático (CC), y su tarea central es la elaboración de un informe periódico de evaluación con base en las investigaciones científicas, técnicas y socioeconómicas desarrolladas por expertos de todo el mundo. El primer y segundo informe del IPCC se publicó en 1990 y 1992, mientras que el tercero, en 1995, proporcionó información científica clave para la adopción del protocolo de Kioto, dos años más tarde. El cuarto documento, divulgado en 2007, mostró evidencias suficientes para afirmar que el calentamiento global es inequívoco y establece las actividades humanas como causa probable.

¿Qué se ha hecho?

En el sector Agropecuario de México, las ideas y estrategias de largo plazo para mitigar el CC inician hace 19 años. Decirlo en la segunda década del siglo XXI suena tal vez fácil, pero imaginemos por un momento el escenario cuando se decide incursionar, a mediados de los años noventa del siglo XX, en el uso de las Energías Renovables (ER) y, sobre todo, considerando que la utilización de recursos fósiles (petróleo, carbón, combustóleo y gas) ha determinado fuertemente el pensamiento, los intereses y las decisiones de las clases política, gubernamental y empresarial a los niveles local y mundial: **es como nadar en un río a contracorriente**.

La Innovación en el sector agropecuario

En 1994 dio inicio un programa innovador de carácter demostrativo sobre la aplicación de las Energías Renovables en el Campo Mexicano. Estas acciones se realizaron de manera conjunta con la Secretaría de Agricultura (SAGARPA)-FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido) y los Laboratorios Nacionales Sandía de los Estados Unidos de Norte América (EUA). Un elemento distintivo ha sido el diseño metodológico, donde la constante es la capacitación de técnicos y productores, convirtiéndose esta práctica en un elemento habitual, así como la elaboración de manuales y videos (Figura 1). Las primeras acciones se realizaron en los estados de Baja California Sur, Chihuahua, Sonora y Quintana Roo, con la instalación de 195 equipos fotovoltaicos para bombeo de agua en ranchos que carecían del recurso energético convencional; es decir, el fluido eléctrico proporcionado vía cable y generado por una infraestructura remota bajo un esquema centralizado (**algo muy distinto a**



Figura 1. Sistema fotovoltaico, Sierra Norte de Puebla, México.



Figura 2. A: depósito de agua para bombeo mediante energía fotovoltaica. B: abrevadero para ganado en la Sierra norte, Puebla.

lo que significan las ER, donde se necesita el recurso energético se coloca la tecnología, se genera y consume).

Es cierto que una de las características de las ER es su intermitencia, que es el caso del viento y sol, principalmente, y que no se presenta en el aprovechamiento del oleaje y corrientes marinas; sin embargo, la aplicación de las tecnologías en sistemas híbridos es cada vez más diversificada y complementaria.

Con el objetivo de darle continuidad a las acciones demostrativas, para el año 1996 se gestionó un donativo ante el Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF), el cual complementó la inversión del Gobierno Federal y de los propios productores. Los resultados obtenidos y lo exitoso de la aplicación derivó en que para el 2000 iniciara el Programa de Energía Renovable para la Agricultura (PERA). Este programa se desarrolló de 2000 a 2006, periodo durante el cual se instalaron 1,545 sistemas demostrativos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, 65 para refrigeración, 20 sistemas de calentamiento de agua con energía solar,

y nueve moto-generadores de energía eléctrica para aprovechamiento del biogás recuperado en los bio-digestores, además de implementar actividades adicionales de promoción, difusión, capacitación y desarrollo del mercado. Se estimó que durante la operación del programa se generaron 4,321 MW (un MW equivale a un millón de watts) y se redujeron las emisiones de CO₂ al ambiente en 257 mil toneladas (Figura 3).

La metodología y lo exitoso del programa lo califican como el de mayores índices de efectividad a nivel mundial. Bajo este programa de forma sistemática da inicio la utilización de nuevas tecnologías dentro del sector agropecuario, tales como la fotovoltaica, solar térmica, eólica y bio-digestión. Considerando el sentido de innovación que desde un inicio ha manejado SAGARPA-FIRCO, existe apertura hacia la adición de tecnologías y de mejo-

res formas de administrar la energía (Figura 4).

Dentro de los principales impactos del Programa de Energía Renovable para la Agricultura (PERA), se puede enunciar la creación de un mercado de

productos y servicios en proceso de expansión, y un padrón de proveedores y prestadores de servicios en franco crecimiento, así como un efecto multiplicador del Proyecto; otros productores con recursos propios hicieron uso de

esta tecnología, provocando una tendencia de descenso en los precios de los equipos, e interés para incursionar y generar estudios de nuevas aplicaciones productivas de las tecnologías de energías renovables.

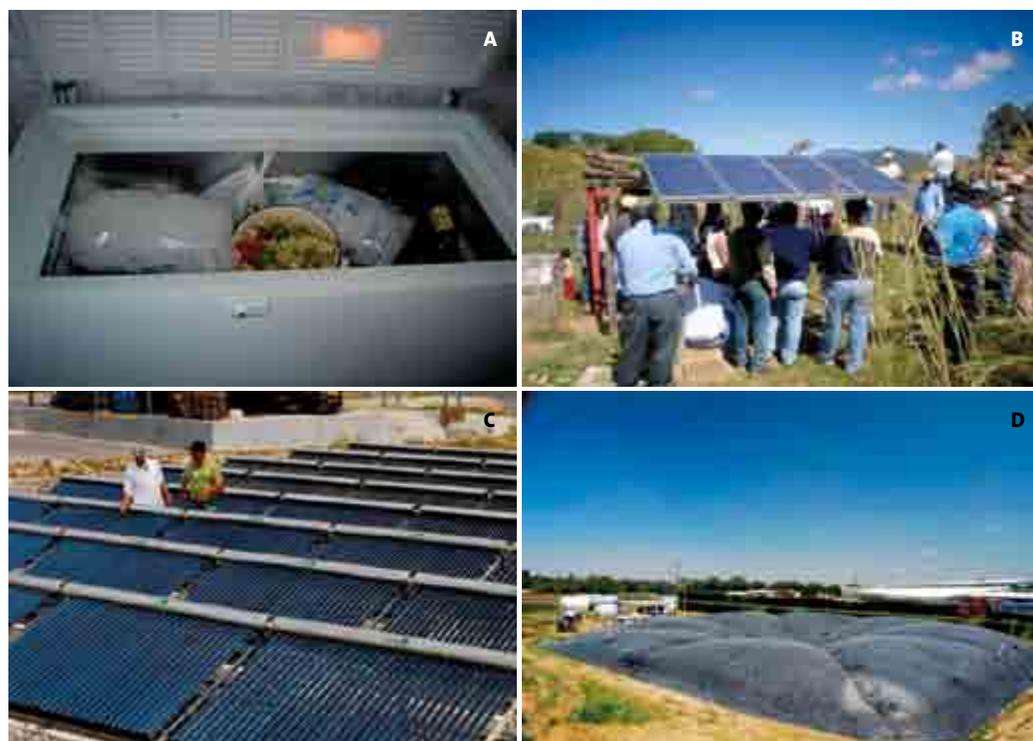


Figura 4. A: Refrigeración, la electricidad se obtiene con sistema fotovoltaico y se almacena en baterías en Tututepec, Oaxaca, México. B: Día demostrativo Sistema fotovoltaico en el estado de Hidalgo, México. C: Calentadores solares, Avicarnes Ciénega de Flores, N.L., México. D: Biodigestor, Establo La Estrella en León, Guanajuato, México.



Figura 3. A: Demostración de paneles solares (energía fotovoltaica) a productores en El Fuerte, Sinaloa, México. B: Calentamiento de agua, calentadores solares evacuados en Rastro TIF, Puente Grande, Guadalajara, Jalisco, México.

Desde un enfoque económico, las ER se pueden definir como amigables con el medio ambiente, ya que entre otros usos, permiten canalizar hacia procesos de transformación energética a los residuos orgánicos líquidos, sólidos y gaseosos, producto de las actividades humanas y disminuir sus efectos contaminantes.

En la aplicación de estas novedosas tecnologías y manejo de residuos, fundamentalmente se deben establecer los criterios de recuperación de temperaturas, así como de elementos que en algún momento del proceso consideramos como un problema; para el caso particular de los bio-digestores, uno de los productos resultantes son las aguas residuales (lixiviados). Una vez que salen del proceso de reducción, que tiene lugar en el interior del biodigestor, los lixiviados contienen altas concentraciones de fósforo, nitrógeno y potasio, teniendo un gran valor para la agricultura. Estos elementos están presentes en las excretas y residuos orgánicos producidos durante la crianza y sacrificio de animales en granjas porcícolas, establos lecheros y rastros. Otro

elemento a destacar es que se debe considerar a las ER como la palanca tecnológica que permite ahorros, tan sólo en tomar en cuenta que para las tecnologías solares y de viento (eólicas) la utilización de los combustibles (radiación solar-viento) no significa erogación.

Es cierto que en un inicio la inversión es medianamente alta, pero no se debe olvidar que existe el apoyo de SAGARPA-FIRCO (México). Al contar con los recursos agua y energía, elevar los niveles nutricionales de los animales, la productividad y el darle valor agregado a los diversos productos resultado de las actividades pecuarias y pesqueras, es menos complicado, y realmente se establecen las bases de un desarrollo que favorece a la generación de riqueza en los integrantes de las familias de los productores (Figura 5).

Un elemento destacable es la capacitación a través de la impartición de cursos y talleres entre funcionarios, técnicos y productores agropecuarios, con el objetivo de promover el conocimiento de las tecnologías y reducir el temor y desconocimiento de las ERs.

En una ocasión, con la inocencia ante lo desconocido, un ganadero comentó: *"esto es magia"*, no podía entender que con el puro sol se estuviera produciendo energía eléctrica", haciendo referencia a los sistemas fotovoltaicos que se han utilizado para el bombeo de agua en abrevaderos e irrigación de pequeñas parcelas forrajeras. El número de instalaciones muestra un crecimiento acompañado con la complementación de tecnologías: Bio-digestores-moto-generadores-sistemas térmico solares-cogeneración, en una misma instalación. Con esta estrategia se está presentando una continua innovación en el ámbito energético en áreas rurales de México.

En 2004, con la coordinación de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES), la SAGARPA-FIRCO decide organizar el primer Congreso Mundial de Energía Renovable en la ciudad de Guanajuato. Como parte de los trabajos, se proyectó la serie documental *Construyendo el Futuro*, coproducción realizada entre el Banco Mundial y FIRCO. Parte fundamental de los trabajos de difusión y promoción consistió en documentar los testimonios de usuarios de las tecnologías



Figura 5. A: Granja porcícola, "Ana Margarita", en Allende, N. L., México. B: Establo lechero La Estrella, en León, Guanajuato, México.

de ER. En el caso particular de los Sistemas de Biodigestión el objetivo inicial es la producción de biogás para su posterior utilización, como la quema directa o el aprovechamiento para la generación de energía eléctrica (Figura 6).

Una aportación de igual trascendencia que las anteriores es la disminución de los problemas ambientales, derivados de los procesos de producción en granjas porcícolas, establos lecheros y rastros. Actualmente estas son las actividades productivas que mayor número de usuarios registra el padrón del FIRCO.

Bio-digestión, quema de biogás y generación de energía eléctrica

Uno de los productores con los que inició el programa de biodigestión es el Ingeniero José Luis Tamez, entusiasta porcicultor propietario del Rancho Ana Margarita, ubicado en el municipio de Allende en el estado de Nuevo León, México, de quien se muestra su testimonio (Figura 7).

Originalmente su propiedad se encontraba fuera del municipio, pero con el crecimiento poblacional y de servicios su



Figura 7. Ing. José Luis Tamez, del Rancho porcícola Ana Margarita en Nuevo León, México.

granja quedó rodeada por un campo de golf y un fraccionamiento. José Luis Tamez llevaba años trabajando, junto con sus hermanos, en el negocio de la porcicultura, como herencia de su padre. Durante este tiempo estuvo soportando las quejas constantes de sus vecinos, amonestaciones de la autoridad municipal y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por los residuos orgánicos derivados de esta actividad, tales como el agua pestilente con mucha materia orgánica y toneladas de excremento que diariamente dejaba la crianza de 11,200 cerdos.

¿Cuánto tiempo llevas con tu bio-digestor?

JLT - En 2005 se inició la construcción del bio-digestor y el 2 de octubre ya estaba en operación el quemador. Ese fue el primer día que se prendió el mechón y a finales de 2006 iniciamos con la generación de energía, dando inicio a la solución de nuestro problema ambiental.

¿Tienes una idea de lo que has ahorrado, qué beneficios has tenido?

JLT - Estamos ahorrando alrededor de quince mil pesos mensuales de energía, aproximadamente, pero lo más importante de esto es que como planta de emergencia se justifica el proyecto. En repetidas ocasiones hemos tenido problemas con el servicio de Comisión Federal de Electricidad (CFE). Hace unos días estuvimos casi dos días sin energía por un desperfecto que hubo en la red general; sin embargo, la granja estuvo trabajando perfectamente sin interrupción, y yo creo que con eso se



Figura 6. A: Congreso mundial de energía renovable. B: Quemador de biogás y bio-digestor al fondo. Granja Ana Margarita, Allende, N.L., México.

justifica el proyecto. Lo demás ya son ahorros y utilidad. Dentro de lo más importante es que se tiene la energía cuando se requiere; si existe una falla en el suministro de la CFE, se puede subsanar mediante su producción con el motogenerador y sin costo de diésel que es la forma como anteriormente se realizaba (Figura 8).

Se cava la trinchera con dimensiones de aproximadamente 80x50 m y una profundidad de 6 m, donde se depositan los líquidos cargados de materia orgánica. Se recubre el fondo con una geo-membrana, la cual imposibilitará filtraciones al subsuelo y que también permite a las bacterias trabajar en la generación de metano. Las aguas residuales llegan por gravedad a través de la instalación de tuberías. En el fondo se instala un sistema hidráulico de agitación que previene la sedimentación y acumulación de sólidos, así como el taponamiento de tuberías; además, se garantizan perfiles de

temperatura constantes dentro del biodigestor y una eficiente interacción entre microorganismos y el sustrato. También se utiliza para realizar actividades de mantenimiento, monitoreo y la remoción de lodos. Una vez llena la trinchera, se coloca el cover, que es la continuación de la geo-membrana, la cual es sellada por termo-fusión (Figura 9).

¿Dónde te encuentras parado, Ingeniero?

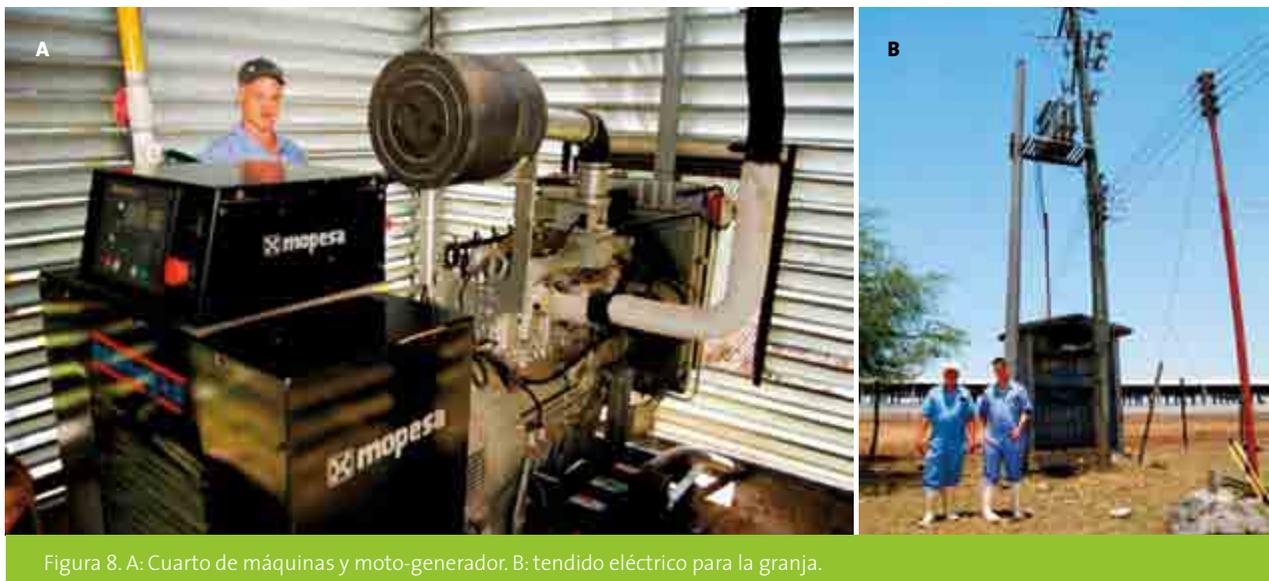


Figura 8. A: Cuarto de máquinas y moto-generador. B: tendido eléctrico para la granja.



Figura 9. A: Excavación de trinchera. B: Instalación de tubos de agitación.

JLT - Estoy sobre el “cover” del biodigestor, que es una membrana de alta densidad; esto es, por así decirlo, “el techo” del biodigestor.

¿Aguanta muy bien, logras subirte, verdad?

JLT- Sí, de hecho las pruebas de resistencia del material soportan un vehículo Jeep o una cuatrimoto; esto no tiene riesgo aunque, por seguridad, no es muy recomendable que la gente camine repetidamente sobre ella, pero sí tiene una muy buena resistencia. Aquí el peligro es que si traes un clavo o algo en los zapatos, podrías romperlo.

¿José Luis, hace cuánto que estrenaste motor?

JLT - Lo instalamos en agosto de 2009, es una versión nueva electrónica; la ventaja es que ante una demanda superior a los 200 amperes, que equivale a unos 55-60 kilowatts hora, el motor se “protege” (paro automático).

¿Estás a gusto?

JLT - Muy a gusto; ya hicimos unas interconexiones para las bombas de agua. Las que llenan las pilas para el agua de bebida, están interconectadas también al sistema, y el motor viejito que teníamos antes, lo estoy adaptando para instalarlo en las bombas de riego.

¿Tecnología nacional?

JLT - Cien por ciento nacional, y algunas adaptaciones hechas en nuestra empresa (Figura 10).

¿Sigues perfeccionando?

JLT - Pues adecuándolos a las necesidades de las granjas. Por ejemplo, este filtro es una adecuación que le hicimos en la granja, y se usa para los sistemas de riego.

¿En el exterior también tienes otros filtros?

JLT - Sí, tiene varias trampas de agua, y en algún momento se tuvo el problema de que después del filtro para azufre salía directo al motor y generaba condensación, pero ya con esto logramos quitar esa agua y causarle menos deterioro al motor. Esas son algunas de las cosas que hemos tenido que adaptar aquí y la otra es la de los filtros. Originalmente, el diseño de los filtros era horizontal, por lo que el tubo inferior se quedaba con agua; sin embargo, lo cambiamos para que fuera vertical y eliminamos el problema.

¿Te encuentras en la autosuficiencia energética?

JLT - Sí, antes teníamos el problema de que trabajábamos con una bomba diésel, y cuando fallaba el suministro



Figura 10. A: Motogenerador a base de biogás de la granja María Ana. B: Filtros colocados verticalmente y trampas de agua.

tro de la CFE la granja entraba en crisis; en la actualidad hemos hecho interconexiones y con este mismo generador las estamos levantando (Cuadro 1).

Actualmente (2013), la granja cuenta con tres moto-generadores con capacidad de 30 kw, 60 kw y 100 kw, todos alimentados con el biogás producido en el biodigestor, cubriendo de esta manera el total de sus requerimientos en energía eléctrica. Siguiendo la tendencia innovadora que caracteriza a este productor, el proyecto incluye la cogeneración al aprovechar los diversos flujos energéticos térmicos de las motos generadoras. En función de las temperaturas producidas se puede generar vapor y/o precalentar agua. Por ejemplo, el radiador cuenta con un fluido a 80 °C promedio; esta temperatura se puede aprovechar mediante un intercambiador de calor (con una pérdida estimada de 10 °C) para calentar agua, la cual se puede utilizar en procesos de limpieza, o elevar la temperatura en las áreas de maternidad de la granja. Algo similar se puede aplicar con el aire caliente de sus escapes; de esta forma, se puede mitigar el efecto de los gases de efecto

Cuadro 1. Datos técnicos del bio-digestor del Rancho Ana Margarita, Allende, Nuevo León, México.

Animales en la granja	Área que ocupa el biodigestor	Cantidad de metano producida por día	Energía producida por el generador	Capacidad de motor (generación eléctrica)	Metano quemado en mechero	Quemador	Metano quemado en moto generador
11,200 y 1200 vientres	6000 m ²	2500 m ³	35 Kwh. 130 Amper. Trifásico en 220 En 440 es más eficiente.	-60 Kwh. -Perkins -6 cilindros -60 hp. Efectivos.	15,904 m ³ por semana	Activo simultáneamente con el generador	-19 m ³ por hora. -Trabaja 80 horas por semana. -1520 m ³ por semana de biogás.

invernadero resultantes de la actividad primaria, aplicando tecnologías que los atrapen y conviertan en un subproducto reciclable en la misma área de generación (Figura 11).

La biodigestión en el sector agropecuario está ayudando a disminuir no sólo la generación de metano y las afectaciones al medio ambiente, sino también a dar rentabilidad a la actividad de los poricultores al incursionar en la generación de electricidad a través de la figura jurídica del autoabastecimiento. En la actualidad los excedentes eléctricos generados se mandan al sistema interconectado para que, en su momento, cuando la infraestructura de la granja requiera mantenimiento, o la demanda sea mayor, se retornen los watts produ-

cidos, fungiendo la CFE como banco de energía. En un futuro lo ideal será vender los excedentes a la CFE en un esquema preferencial hacia las energías verdes.

Es así como la familia de José Luis Tamez ha diversificado su actividad y ahora también es un pequeño productor de energía. De ser su manejo un problema ambiental, ahora los residuos se han convertido en un subproducto (metano-producción de electricidad y la generación de abonos líquidos y sólidos), propiciando un desarrollo rural sostenible.

Un indicador de la efectividad y del aprecio que los productores rurales

tienen hacia las ER, se observa al momento de tomar la decisión de instalar por cuenta propia diversas tecnologías alternativas. Las 32 gerencias del FIRCO-SAGARPA por ejemplo, son un vínculo para que el productor o las organizaciones rurales puedan acceder al uso de las tecnologías de ER, donde personal altamente capacitado los acompaña en la elaboración del plan de negocios, ficha técnica, análisis de congruencia, y factibilidad técnica, económica y ambiental para asegurar su ejecución. México emite 711.65 millones de toneladas de CO₂ equivalente en promedio, que provienen fundamentalmente del sector energía, transporte, generación de desechos, así como de diferentes actividades antropogénicas, y disminuir las emisiones de Gases de Efecto



Figura 11. A: Producción de metano (CH₄). B: Confinación de desechos en el bio-digestor.

Invernadero (GEI), las cuales incrementan el calentamiento global, es el mayor reto ambiental que se enfrenta como país (Figura 12).

En el caso específico del sector agropecuario, la contribución de estas emisiones fue de alrededor de 45.5 millones de toneladas de CO₂ (Mt CO₂ eq) en promedio durante el periodo 1990-2002, lo que representa 6.4% del total emitido en el país.

CONCLUSIONES

- La mitigación de los GEI demanda una aplicación más amplia y la incursión en el ámbito urbano con algunas de ellas. En México la estrategia de mitigación surgió hace 19 años. Dentro de estas acciones, por su importancia, resalta la enfocada a la incorporación de fuentes de energía renovable en los procesos productivos de diferentes tipos de agro-negocios en el sector agropecuario, lo cual se realiza a través de la promoción y difusión de estas tecnologías mediante apoyos gubernamentales otorgados por la SAGARPA, vía el FIRCO, el cual es un agente promotor de agro-negocios que busca fomentar el valor agregado en el agro mexicano.
- Los sistemas de energía renovable que se están incorporando en distintos agro-negocios para cumplir con los compromisos dentro del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) son bio-digestores, moto-generadores accionados con biogás para el autoabastecimiento de energía eléctrica, sistemas térmicos solares, y sistemas fotovoltaicos conectados a la red para bombeo de agua y refrigeración.
- Se puede considerar que las ER cumplen con tres preceptos básicos de la sostenibilidad: son técnicamente apropiadas, económicamente viables, y socialmente aceptables.
- Sólo falta un fuerte impulso en la promoción y uso de las ER y de la Eficiencia Energética.

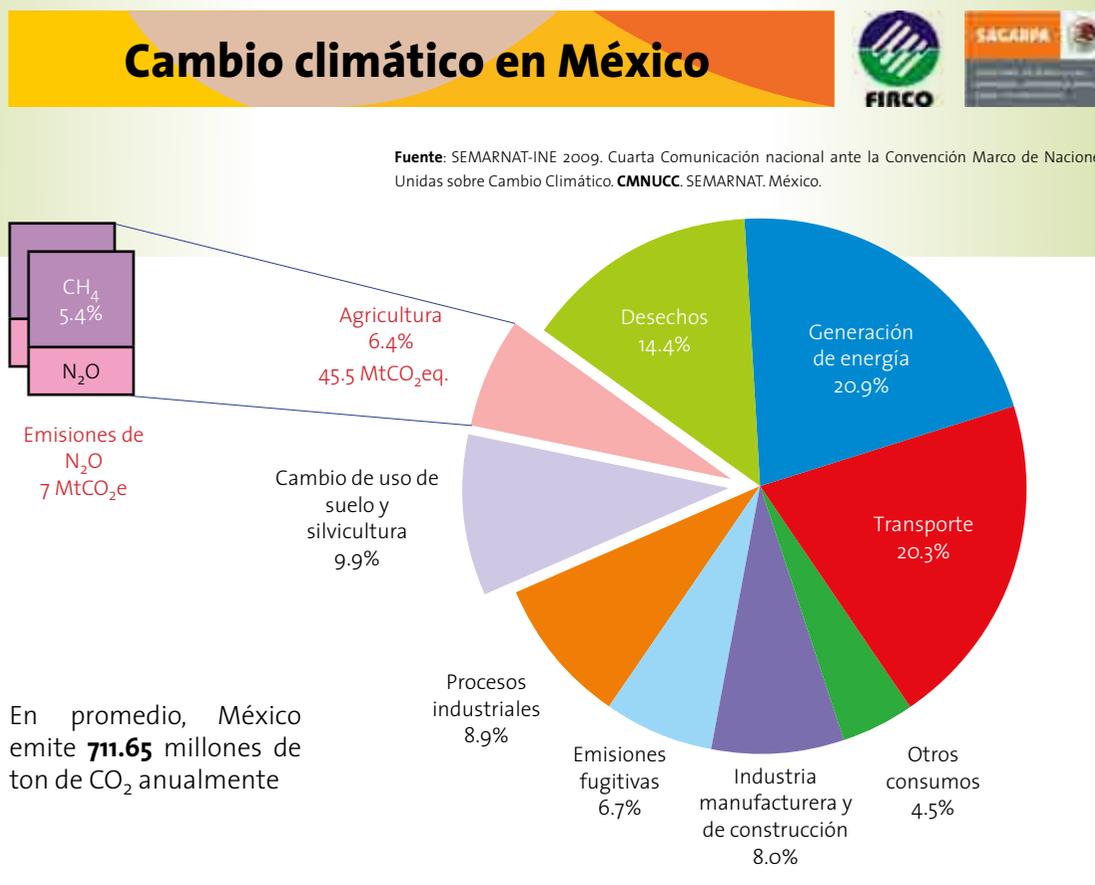


Figura 12. Contribuciones de México al cambio climático por sector económico.

La contribución de las nanociencias y la nanotecnología

C. Hidalgo^{1,2*}, J. D. Etchevers^{1,2}, R. Zanella³

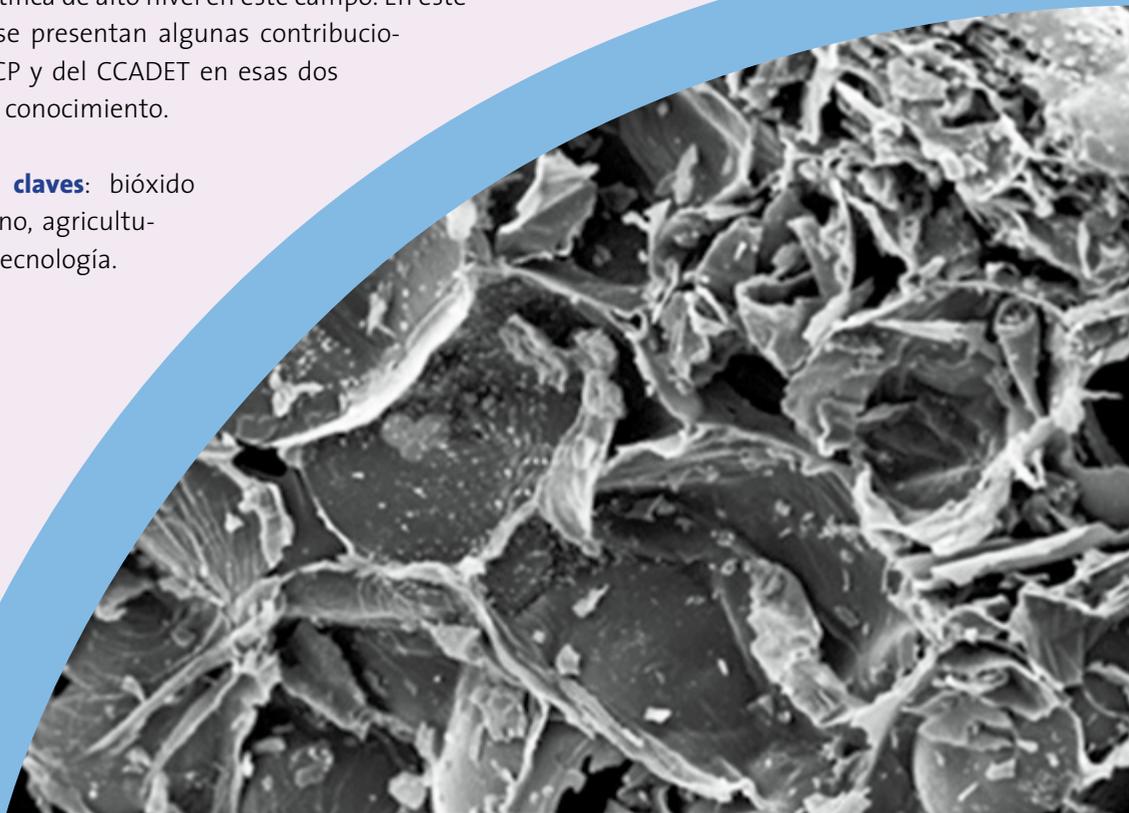
¹Colegio de Postgraduados, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. ²LPI-16 Innovación Tecnológica del Colegio de Postgraduados. ³Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, C.U. c.p. 04510, México D. F.

Autor responsable: hidalgo@colpos.mx

RESUMEN

El presente artículo es una reflexión acerca de la relación entre dos fenómenos recientes en la vida de los seres humanos: el cambio climático y el desarrollo de nuevas ciencias y tecnologías. Ambos aspectos ocupan la atención de publicaciones y desarrollos técnico-científicos en los últimos 20 años. El Colegio de Postgraduados (CP) y el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Autónoma Nacional de México (CCADET), han conjuntado esfuerzos para desarrollar propuestas que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático, además de estudiar la adaptación de los sistemas agrícolas a éste, sin que se afecte el suministro de alimentos. Para ello, es necesario realizar trabajo en conjunto con los distintos sectores emisores de los gases de efecto invernadero (GEI) y, en el sector agrícola, implementar desarrollos tecnológicos innovadores que resulten de la investigación científica de alto nivel en este campo. En este artículo se presentan algunas contribuciones del CP y del CCADET en esas dos áreas del conocimiento.

Palabras claves: bióxido de carbono, agricultura, nanotecnología.



INTRODUCCIÓN

Pocas personas dudan que la humanidad haya entrado en un periodo de cambio climático. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), tal cambio está asociado, con 90% de probabilidad, al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, particularmente CO₂, CH₄, N₂O, NO_x. Tal incremento es consecuencia de la actividad de los seres humanos (principalmente, quema de combustibles fósiles para generar energía, transporte, industria cementera, cambio de uso del suelo, etcétera) y continuará aumentando a menos que se reduzcan sustancialmente las emisiones de millones de toneladas de dichos gases a la atmósfera. La magnitud y velocidad del cambio climático futuro dependerá de la velocidad y magnitud en que los GEI se incrementen en la atmósfera. Sin embargo, una de las mayores incertidumbres en los modelos propuestos por el IPCC (2007) para definir los escenarios que resultarán del grado de emisión de los GEI, es como será afectada la conducta humana. Cada escenario aborda diferentes suposiciones, pero ello no resuelve el problema de fondo; sólo se limita a hacer predicciones.

La CEPAL (2012) indica que México es uno de los países con mayor vulnerabilidad ante el cambio climático; asimismo, las políticas públicas para prevenir y mitigar los efectos, así como las medidas para proteger y conservar el medio ambiente, siguen siendo escasas e insuficientes, a pesar del Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 (DOF, 2009), cuya vigencia fue extendida hasta mediados de 2013, y la reciente Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012). Se predice que, en el futuro cercano,

México tendrá incrementos de 2% anual en emisiones de CO₂, causados en parte por los cambios en el uso del suelo y la contaminación (Figura 1) lo que, aunado al mal manejo del agua, agravará los problemas del país. Sin embargo, propuestas y estrategias recientes en el país (CICC, 2007) y otras iniciativas, llaman a una reducción de 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2020, y de 50% para el 2050 con respecto a las emisiones que el país tenía en 2000.

El documento “La economía del cambio climático” de Galindo (2010), señala que en los próximos 20 años se espera un incremento en las precipitaciones extremas en toda la región de Latinoamérica. En México se prevé que aumentará 10% en el centro; sin embargo, en el resto del territorio se espera un incremento en el número de días consecutivos sin lluvia, por lo que habrá más calor. El año 2012 ha sido un anticipo de lo que se puede esperar en las décadas venideras ya que, según la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), se ubica como uno de los 10 años con mayor temperatura (14.6 °C) desde que se inició el registro medio global de éstas. Se estima que los sectores más críticos en el futuro serán la agricultura y el agua, por las implicaciones que tiene en la producción de alimentos, en especial porque el Gobierno ha reconocido que en 2013 hay más de 20 millones de mexicanos en pobreza alimenticia y se tiene una gran dependencia de las importaciones de alimentos. Para 2030 la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos provocará que todos los distritos de riego sean económicamente inviables y que para 2050 la aptitud del suelo para cultivar maíz (*Zea mays*) u otros cereales cambie drásticamente, entre 5 y 29% (Galindo, 2010; INE, 2006).



Figura 1. Ejemplos de cambio de uso de suelo.

Para los veranos de 2020 y 2050 se prevén aumentos de 1 a 3 °C en la temperatura media, y disminución en la precipitación media anual de 5 a 10%, lo que provocará menor disponibilidad de agua. El Distrito Federal y el Estado de México serán las entidades con mayor sobredemanda de agua a nivel nacional. En salud se espera que en los próximos años se incrementen los riesgos de muertes por golpes de calor; habrá zonas que serán más vulnerables a enfermedades, como el dengue o el paludismo, así como gastrointestinales e infecciosas, afectando principalmente a niños y ancianos. Las regiones que resultarán más afectadas por esta situación, en mayor o menor medida, serán Baja California, Sonora, Sinaloa, la región hidrológica de Lerma, las zonas en el sur de México, y la Península de Yucatán (Galindo, 2010).

Las acciones que se deben tomar son de dos tipos: las estrategias orientadas a la mitigación, esto es, a la reducción del impacto del cambio climático mediante la disminución de las emisiones de CO₂ y otros GEI a la atmósfera; y las estrategias de adaptación, que se refieren a la posibilidad de sobrellevar los efectos del cambio climático o a tomar ventajas de éste mediante gestiones específicas.

En su conjunto, el sector agrícola genera, aproximadamente, 20% de las emisiones de GEI (CICC, 2012). Aunque las cifras históricas no han variado mucho, llama la atención el cambio de las fuentes de GEI de este sector, donde se ha observado una disminución del aporte que hace el cambio de uso del suelo correspondiente a la disminución de las áreas forestales, y un incremento de la participación del sector agricultura, en especial, siendo la principal fuente el origen de óxido de nitrógeno (N₂O).

En los sectores agrícola y forestal se han presentado opciones para mitigar las emisiones de CO₂ (bióxido de carbono) producidas por este sector. Aun cuando su impacto es limitado, los trabajos alrededor de este tema han sido relevantes, posicionando a México como un país que ha incorporado el balance de CO₂ de ecosistemas terrestres a los inventarios nacionales emitidos por el INE (cf. INE 2006; 2012) ante los organismos internacionales.

La investigación en el sector agrícola desarrollada en años recientes en el país, se ha dirigido a proponer sistemas de manejo agrícola que permitan mitigar las emisiones de este gas al ambiente. Experiencias desarrolladas por investigadores del Colegio de Postgraduados (Colpos) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), indican que la agricultura de conservación tiene potencial para incrementar el contenido de carbono orgánico en el suelo con respecto a los sistemas convencionales.

Evaluaciones en parcelas de larga duración sembradas con maíz o trigo, en monocultivo o rotación y con retención de residuos, ubicadas en el centro de México, indican que después de 16 años los mayores contenidos de carbono orgánico en el suelo (**COS**) se encontraban en los primeros 5 cm de profundidad del suelo (Fuentes *et al.*, 2010). Otras

experiencias desarrolladas corresponden a la rehabilitación de suelos degradados en Tlaxcala (Báez *et al.*, 2011). El desarrollo de sistemas agro-silvo-pastoriles y el aprovechamiento del estiércol, son otras propuestas que deben ser implementadas por sus buenos resultados. En el sector forestal se propone frenar los niveles de deforestación actuales, cuyas cifras han variado notablemente (INE, 2006; INE 2010; CICC, 2012), e incrementar el establecimiento de nuevos bosques y, a más largo plazo, el desarrollo sostenible de los mismos. El uso del suelo como un almacén semipermanente de captura de carbono (secuestro), ha sido señalado como una alternativa viable y barata de reducción del CO₂ atmosférico. Experiencias desarrolladas por equipos de investigadores del Colpos *Campus* Montecillo en asociación con investigadores de la Universidad de la Frontera de Chile, Agriculture and Agrifood Canada,

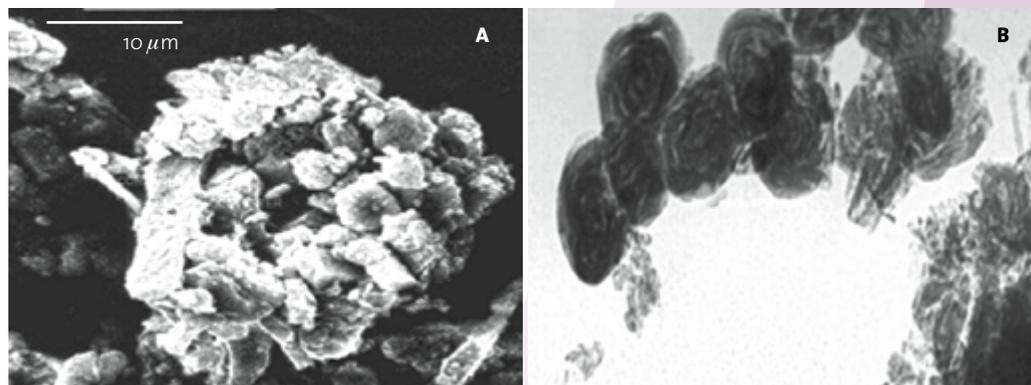


Figura 2. A: Agregado (Microscopía Electrónica de Barrido). B: Arcillas (Microscopía Electrónica de Transmisión) del suelo en donde suceden los procesos de captura de carbono.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, y el Institut de Recherche pour le Développement de Francia, indican que la fracción arcilla y limo del suelo (entre 0.2 y 50 μm) de andosoles, acrisoles y tepepates (Etchevers *et al.*, 2006; Covalada *et al.*, 2006; Báez *et al.*, 2011) pueden capturar carbono. Algunos ferralsoles del estado de Oaxaca presentan altos stocks (“existencias”) de materia orgánica, de 46 a 94 Mg C ha^{-1} en zonas con bosque de hasta 54 a 146 Mg C ha^{-1} en los suelos cultivados (Matus *et al.*, 2011).

El empleo de biochar (carbón biológico) es probablemente una de las más recientes propuestas para secuestrar carbono en el suelo (Lehmann y Joseph 2009); sin embargo, todavía no se conocen resultados científicos contundentes que permitan desarrollar esta tecnología como una alternativa para mitigar las emisiones de CO_2 al ambiente. Actualmente, un equipo de investigadores del Colpos en coordinación con especialistas de la Red Nacional de Biocombustibles y de la Universidad de Santiago de Compostela de España, están desarrollando trabajos de investigación para evaluar el potencial de este material en cuanto a la captura de carbono.

El desarrollo de tecnologías nuevas y emergentes, que son parte de los requerimientos de los escenarios BLUE (escenarios propuestos por la Agencia Internacional de la Energía en los que se pretende que las emisiones en 2050 sean el 50% de lo que fueron en 2005), están llamadas a cumplir una función central en la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático (CEPAL, 2012).

Otras formas de capturar CO_2 por sistemas naturales, aun cuando no corresponden a los ecosistemas terrestres, son aquellas relacionadas con la actividad de organismos marinos. Se ha reportado la captura de CO_2 por el erizo de mar (*Echinus spp.*) por investigadores de la Universidad de Newcastle (Reino Unido), quienes descubrieron que estos equinodermos utilizan níquel para fijar el CO_2 del mar y fabricar su caparazón calcáreo (Gaurav y Šiller, 2013). Otro ejemplo es las funciones de las praderas marinas en los procesos de captura de carbono y formación de aragonita (Susana Enríquez, 2013. Comunicación personal).

Las distintas formas naturales de captura de carbono en el suelo (arcillas y limos) y de organismos marinos, involucran procesos que suceden a nivel de la microestructura, siendo éstos ya parte del universo micro y nano de la naturaleza, aun cuando no se pueden considerar propiamente como desarrollo nano o micro-tecnológicos. Estos mecanismos naturales, que son parte de la biomimesis (modelos de la naturaleza que permiten resolver problemas humanos) (Benyus, 2012), son los más desarrollados en cuanto a las propuestas de mitigación y adaptación al cambio climático, dentro de las ciencias que involucran sistemas naturales, como es el caso de los sistemas agrícolas, pecuarios, marinos y forestales. Por ello, en la actualidad es muy limitado el desarrollo de nanotecnologías que impacten directamente la disminución de las contribuciones de CO_2 provenientes de las actividades agrícolas, o bien, que permitan a las especies vegetales adaptarse a las

nuevas condiciones climáticas. Al respecto, se requiere el desarrollo de variedades de cultivos que se ajusten a ciclos más cortos de lluvia o que aumenten su tolerancia al estrés hídrico. En ambos casos es inminente el desarrollo de tecnologías que permitan lograr estos objetivos.

Partiendo del hecho de que el mayor porcentaje del CO_2 en México proviene de las actividades de transporte (22.2%), generación de energía (21.8%) y procesos industriales (8.2 %

(CICC, 2012), lo que representa más de 50% de las emisiones (Figura 4), es claro que las acciones que pueden tener una mayor repercusión en la mitigación de los efectos del cambio climático son aquellas que buscan: (1) mejorar la eficiencia energética del transporte, la industria, los edificios, y los electrodomésticos; (2) la generación de electricidad mediante fuentes renovables como la eólica, la solar y la biomasa; y (3) las tecnologías de captura y almacenamiento de CO_2 (CCS) (por sus siglas en inglés *Carbon Capture and Storage*). Acciones emprendidas en este sentido representan el campo de acción más extenso y probablemente menos costoso para reducir las emisiones de CO_2 (Metz *et al.*, 2005).

Las aplicaciones de la nanotecnología en los puntos señalados arriba se ubicarían en tres áreas: (1) generación de energía y desarrollo de súper-condensadores para almacenar

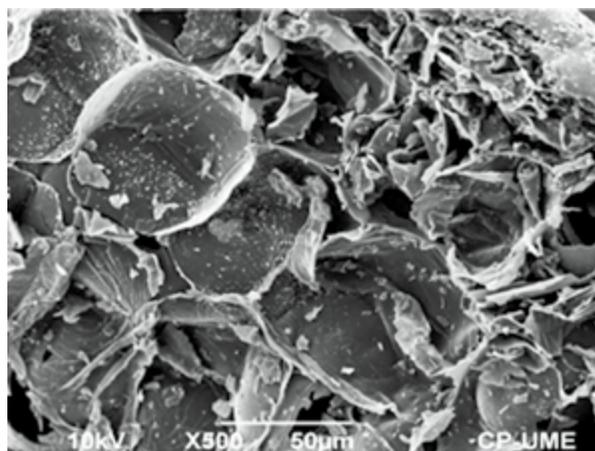


Figura 3. Microestructura del biochar (Microscopía Electrónica de Barrido, CP).



Figura 4: A: Industria. B: Transporte, principales focos contaminantes de GEI en México.

electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas y termo-voltaicas, así como para el almacenamiento o generación de hidrógeno como un portador de energía alternativa y la reducción en el costo de producción de celdas solares; (2) eficiencia energética para mejorar las condiciones de aislamiento de los edificios, desarrollando películas delgadas para ventanas y materiales, con los que se mejorarían las propiedades aislantes; nuevas fuentes de luz, como los diodos emisores de luz (LEDs) que ofrecen una alternativa económica respecto a la energía convencional de fuentes de luz incandescentes, así como el aislamiento en motores para hacer más eficiente el uso del combustible. También el uso de catalizadores y aditivos nanoparticulados para reducir el consumo de combustible en motores diésel y mejorar la calidad del aire local; y (3) desarrollo de nuevos materiales, desde aquellos que permitan aligerar el peso de transporte o empaquetado, hasta lubricantes y películas con ultra capas hidrofóbicas que reduzcan la formación de hielo en las láminas de turbina de aviones (Walsh *et al.*, 2007).

También la manipulación de materiales y sistemas funcionales a través del control de la materia a escala de átomos y moléculas, ha demostrado ser una técnica eficiente y novedosa para controlar y modular sus propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas, muchas de las cuales pueden ser moduladas simplemente cambiando su tamaño, forma, o la funcionalización de la superficie de la nanopartícula, sin cambiar la composición del material (Daniel y Astruc, 2004; Grieve *et al.*, 2000; Lu *et al.*, 2007; Medintz *et al.*, 2005; Pérez-Juste *et al.*, 2005; Shipway *et al.*, 2000). De esto se ha validado la nanotecnología para el diseño de materiales avan-

zados, nanodispositivos de alto rendimiento, y miniaturización de dispositivos electrónicos.

Fotosíntesis artificial

Otro campo de investigación que está comenzando a tener un gran auge en fechas recientes, es la fotosíntesis artificial que, inspirado en la fotosíntesis natural y el dominio de la estructura de los materiales en nano-escala, busca utilizar la energía solar para reproducir la forma en que las plantas producen hidrógeno y otros energéticos (Gust *et al.* 2012). La investigación en torno a la fotosíntesis artificial se puede dividir de acuerdo con la fase de la fotosíntesis natural que busca replicar la separación de moléculas de agua para obtener hidrógeno y oxígeno que ocurre en la fase luminosa (Oros-Ruiz *et al.*, 2013) y la fijación del bióxido de carbono que ocurre en la fase oscura.

La idea es producir una “**planta artificial**”, a través de chips de silicio, componentes electrónicos y nano-catalizadores (sustancias que aceleran las reacciones químicas que de otro modo no ocurrirían o se llevarían a cabo con lentitud), que sea capaz de almacenar energía en forma de compuestos orgánicos, así como producir hidrógeno, que es un potente combustible. La combustión del hidrógeno con el oxígeno produce varias veces más energía por unidad de masa que las gasolinas, el diesel o el gas natural, pero sin contaminar, ya que esta reacción química solamente produce emisiones de vapor de agua. La fotosíntesis artificial puede tener una eficiencia varias veces superior a las plantas para absorber el CO₂ del aire y producir hidrógeno. Esto hace que la fotosíntesis artificial sea una tecnología atractiva no

sólo desde el punto de vista práctico y económico, sino también desde el ecológico, ya que potencialmente podría ayudar a mitigar el calentamiento global.

En un informe presentado por el Departamento del Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido (Walsh *et al.*, 2007), se abordan algunas de las propuestas antes mencionadas. Los expertos concluyen que la nanotecnología podría contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta en 20% en el año 2050. La mayor reducción de las emisiones de los GEI vendría del uso de hidrógeno como fuente de energía, pero se estima que un tiempo de aproximadamente 40 años es un plazo razonable para que esta tecnología tenga un despliegue universal (Walsh *et al.*, 2007).

La nanotecnología es una tecnología de “plataforma” cuyos beneficios ambientales han sido modestos. Aun cuando se hacen esfuerzos, todavía no se dispone de la tecnología necesaria para alcanzar los objetivos establecidos más ambiciosos planteados por los organismos internacionales relacionados con el cambio climático. Cualquier propuesta al respecto requiere de esfuerzos concertados en cuanto a investigación, desarrollo y demostración (**I+D+D**), tanto en el sector privado como en el público. Se calcula que este último necesitaría multiplicar hasta por diez veces más las inversiones en desarrollo e investigación para cumplir con estos objetivos (Metz *et al.*, 2005). Cuando nuevas tecnologías son aplicadas a los procesos de producción, pueden provocar impactos considerables en

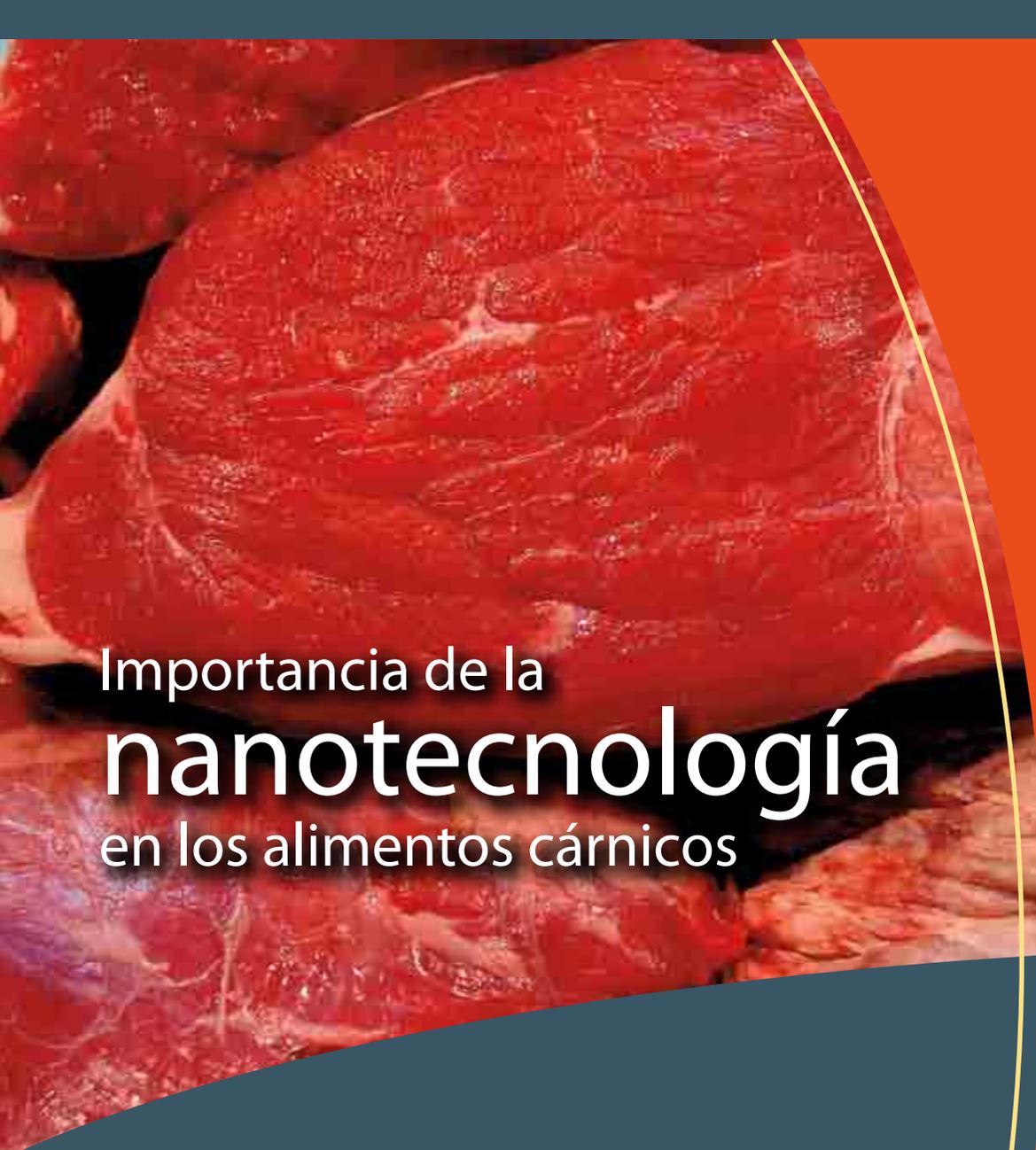
la salud humana, medio ambiente, forma de organización y división del trabajo, así como en la concepción de la población sobre determinados aspectos de la vida cotidiana y en muchos otros ámbitos (Foladori y Lau, 2008). En muchas ocasiones estos aspectos no han sido previstos con el debido cuidado; sin embargo, existen herramientas científicas conocidas que permiten, con anterioridad a la liberación de los desarrollos tecnológicos, evaluar y adelantarse a consecuencias potenciales de estas nuevas tecnologías (caso de las nanotecnologías), con el objeto de que su aplicación permita ajustes de los diferentes intereses sociales, económicos, tecnológicos y políticos, lo que permitiría coadyuvar a menores costos sociales. La mayoría de estas metodologías supone el diálogo entre los principales actores, para “limar” asperezas y reencaminar diseños tecnológicos, considerando opiniones que van más allá de los actores inmediatamente involucrados en los procesos de creación de las tecnologías; esto es, los usuarios potenciales, los futuros generadores de estos bienes tecnológicos, y la sociedad en general (Foladori y Lau, 2008). Es necesario también diseñar mecanismos nacionales que permitan el análisis de estas tecnologías entre todos los sectores implicados, proporcionando información fidedigna, clara y transparente a los distintos sectores implicados.

LITERATURA CITADA

- Báez P.A., Hidalgo M.C.I., Matus B.F., Prat C., Etchevers J.D. B. 2011. Fraccionamiento y acumulación de carbono orgánico en tres suelos volcánicos degradados de México. En: J. F. Gallardo L. (Ed.). *Materia orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos*. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Ministerio de Ciencia e Innovación, España España. pp: 61-79.
- Benyus J. M. 2012. *Biomimesis*. Tusquets Editores México, 368 p.
- Covaleada S., Pajares S., Gallardo J. F., Etchevers J.D. 2006. Short-term changes in C and N distribution in soil particle size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico. *Organic Geochemistry* 37: 1943-1948.
- CEPAL. 2012. Tercer Seminario regional sobre Agricultura y Cambio climático: Nuevas tecnologías en la mitigación y adaptación de la agricultura al cambio climático. Organizado por la Unidad de Desarrollo Agrícola de la CEPAL, el proyecto CEPAL @LIS2 y cofinanciado por la Comisión Europea y la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago de Chile, Chile.
- CICC. 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. SEMARNAT, México, DF.
- CICC. 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT, INECC. México, DF.
- Daniel M.C., Astruc D. 2004. D921 Gold nanopartícles: Assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis and nanotechnology. *Chem. Rev.*, 104, 293-346.
- DOF. 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. Diario Oficial de la Federación del 28 de agosto 2009.
- DOF. 2012. Ley general de cambio climático. Diario Oficial de la Federación del 6 de junio de 2012.
- Etchevers J.D., Hidalgo C., Prat C., Quantin P. 2006. Tepetates of Mexico. *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, New York, USA. pp: 1745-1748.
- Foladori G., Lau E.Z. 2008. El pasado devela el presente. Lo estudios sobre evaluación de tecnología. Capítulo IV. pp. 95-109. *In: Nanotecnologías en la Alimentación y Agricultura*. G. Foladori y N. Invernizzi (Coordinadores). Universidad de la República, Montevideo.
- Fuentes M., Govaerts B., Hidalgo C., Etchevers J., González-Martín I., Hernández-Hierro J.M., Sayre K.D., Dendooven L. 2010. Organic carbon and stable ¹³C isotope in conservation agriculture and conventional systems. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 551-557.
- INE. 2006. México Tercera comunicación ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología, México DF.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Galindo L.M. 2010. La Economía del Cambio Climático en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México, DF.

- Gaurav A. B., Šiller L. 2013. Nickel nanoparticles catalyse reversible hydration of carbon dioxide for mineralization carbon capture and storage. *Catalysis Science & Technology*, 3: 1234-1239.
- Grieve K., Mulvaney P., Grieser F. 2000. Synthesis and electronic properties of semiconductor nanoparticles/ quantum dots. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 5, 168-172.
- Gust D., Moore T.A., Moore A.L. 2012. Realizing artificial photosynthesis. *Faraday Discuss.*, 155, 9-26.
- Lehmann J., Joseph S. 2009. *Biochar for Environmental Management. Science and Technology.* Earthscan. London, Sterling VA.
- Lu A.H., Salabas E.L., Schuth F. 2007. Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and applications. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46, 1222-1244.
- Matus F., Hidalgo C., Monreal C., Estrada I., Fuentes M., Etchevers J. 2011. Land use impacts on physical-based soil organic matter fractions on three hillside Ferrasols in Mexico. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71(2): 283-292.
- Medintz I.L., Uyeda H.T., Goldman E.R., Mattoussi H. 2005. Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing. *Nature Mat.*, 4, 435-446.
- Metz B., Ogunlade D., de Coninck H., Loos M., L. Meyer. 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas Informe del Grupo de trabajo III del IPCC y Resumen técnico. Informe aceptado por el Grupo de trabajo III del IPCC pero no aprobado en detalle. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Oros-Ruiz S., Zanella R., López R., Hernández-Gordillo A., Gómez R. 2013. Photocatalytic hydrogen production by water/methanol decomposition using Au/TiO₂ prepared by deposition-precipitation with urea. *J. Hazard. Mater.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.03.057>.
- Pérez-Juste J., Pastoriza-Santos I., Liz-Marzán L.M., Mulvaney P. 2005. Gold nanorods: Synthesis, characterization and applications. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1870-1901.
- Shipway A.N., Katz E., Willner I. 2000. Nanoparticle arrays on surfaces for electronic, optical, and sensor application. *Chem. Phys. Chem.*, 1, 18-52.
- Walsh B., Pearson J., Morley N. 2007. *Environmentally Beneficial Nanotechnologies. Barriers and Opportunities.* A report for the Department for Environment, Food and Rural Affairs UK. OAKDENE HOLLINS.





Importancia de la nanotecnología en los alimentos cárnicos

Gutiérrez-Arenas D.A.¹, López-Mora Y.¹, Reséndiz-Cruz V.¹, Cruz-Monterrosa R.G.², Ramírez-Bribiesca J.E.¹, Cuca-García J.M.¹

¹Colegio de Postgraduados. Programa de Ganadería. Línea LPI-16. Innovación Tecnológica. Km. 36.5 Carr. México Texcoco Edo. De México CP 56230. ²Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma. Av. de las Garzas 10, Col. El Panteón, Lerma de Villada Municipio de Lerma, Estado de México, C. P. 52005.

Autor responsable: efrenrb@colpos.mx

RESUMEN

Se describe el estado actual de la investigación y uso de la nanotecnología en la producción de alimentos cárnicos. Se hace referencia al desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones para mantener y mejorar la calidad; asimismo, se muestra el efecto de algunos materiales nanoparticulados y ejemplos de nanotécnicas y encapsulados nanométricos en la conservación de la carne, con el propósito de que el producto sea inocuo para el consumidor.

Palabras clave: Nanoencapsulados, carne, polímeros, alimento.

INTRODUCCIÓN

Las innovaciones tecnológicas en diversas áreas del conocimiento han dado lugar a la nanotecnología, como una ciencia que se ocupa de la creación y uso de dispositivos nanométricos (Figura 1) y es definida por la *National Nanotechnology Initiative* (NNI) como un campo dedicado a la manipulación de la materia a niveles atómicos y moleculares en una escala de 1 a 100 nm, donde los fenómenos únicos permiten aplicaciones novedosas (NNI, 2007), y que adquiere propiedades y características distintas a materiales con escalas mayores. Su uso tiene un gran potencial para revolucionar el sector agrícola y pecuario. Las tecnologías de nanoescala permitirán la creación de nuevos organismos artificiales, que pueden ser usados en la calidad de los alimentos. Hoy en día los estantes de supermercados cuentan con alimentos que contienen nano-materiales manufacturados como ingredientes, por lo que grandes compañías de la alimentación en el mundo tienen programas activos de investigación y desarrollo nanotecnológico. Este campo tiene un alto potencial de aplicación en todos los aspectos de producción de alimentos; por ejemplo, en la disminución del contenido de grasa o carbohidratos, incremento en el contenido de proteínas, fibra o vitaminas, fortalecimiento de aromas, colorantes y aditivos nutricionales e, incluso, empaques que aumentan la vida útil de los alimentos, entre otras aplica-

ciones. El objetivo de esta revisión es proporcionar una visión general de las aplicaciones de la nanotecnología en los productos cárnicos, como un beneficio al consumidor.

Nanopartículas en la producción de carne

La calidad de la carne se define con base en la calidad nutritiva o por los análisis fisicoquímicos y sensoriales. La producción animal permite reevaluar constantemente los requerimientos de los animales, y uno de los indicadores importantes en las raciones es el balance de micronu-



Figura 1. Preparación de dispositivos nanométricos de microminerales de la columna.

trientes que, suministrados en forma nanoparticulada, optimiza su absorción intestinal (Buzea *et al.*, 2007). Recientemente Cai *et al.* (2012) evaluaron nanopartículas (10-150 nm) de selenio (Se) en la calidad de la canal y resistencia a la oxidación en pollos, encontrando una mayor actividad de la glutatión peroxidasa con dosis de 0.30-0.50 mg kg⁻¹ de nano-selenio. Esta enzima es seleno-dependiente y es muy importante en la defensa an-

tioxidante, ya que evita la producción de hidroperóxidos, los cuáles producen productos secundarios que afectan el olor y sabor de la carne. Similarmente Zhou y Wang (2011) evaluaron nanopartículas (60-80 nm) de Se con dosis de 0.30 mg kg⁻¹ en pollos, aumentando la actividad de la glutatión peroxidasa e inosina 5-monofosfato, que impactó en mejor calidad de carne.

El cromo (Cr) es mineral traza y componente esencia del factor tolerante a la glucosa, y se asocia con el metabolismo de proteínas, grasas y carbohidratos. Zha *et al.* (2009) evaluaron nanopartículas (30-60 nm) de picolinato de Cr en pollos de engorda sometidos a estrés por calor, aumentando el rendimiento de eviscerado de la canal con aumento de peso y contenido de proteína en pechuga y muslo, así como menor contenido de colesterol y grasa. Por su propiedad antibacteriana, el uso de la plata (Ag) en la producción animal ha despertado el interés de algunos investigadores,

ya que su uso es limitado debido a sus efectos tóxicos en el organismo, provocando problemas de salud pública; sin embargo, según Grodzick y Sawosz (2006), la toxicidad se elimina con el uso de la plata nanoparticulada.

Nanoencapsulados en la conservación de la carne

La higiene y sanidad de la carne (inocuidad o seguridad del alimento)

constituyen elementos innegociables y de valor absoluto, ya que se considera que un alimento no debe ocasionar daño o enfermedad a la persona que lo ha consumido. De ahí la importancia de mantener una buena higiene en este producto en todo momento. Además, tener una carne íntegra es importante económicamente ya que una alteración disminuye la vida de anaquel y dificulta su comercialización (Flores *et al.*, 2011). El efecto antimicrobiano de las nanopartículas de plata (Ag) es conocido. Actualmente se investiga su aplicación en el envasado de cárnicos en la elaboración sabores, olores y en *nanosensores*, para la detección de *analitos* (gases de descomposición) producidos por patógenos en alimentos (Duncan, 2011). El área más activa de investigación alimentaria con aplicaciones de nanociencia es el envasado (Figura 2), debido a la gran aceptación por parte del consumidor. Los avances de la nanotecnología inciden en la industria alimentaria y podrán aplicarse de diversas maneras en los productos cárnicos, para poder mejorar su calidad y alargar su vida de anaquel.

Durante el procesamiento de la carne, el picado produce mayor reparto de bacterias y aumenta la superficie de contacto con el aire. Varios aceites esenciales (Ae) son efectivos contra ciertas bacterias psicótrofas para degradar compuestos aromáticos; éstos pueden usarse como conservadores naturales de alimentos cárnicos. Su empleo es limitado por consideraciones de gusto y sabor, pero su encapsulación es una alternativa muy prometedora.

Se ha demostrado que los Ae tienen propiedad antimicrobiana frente a bacterias patógenas que se desarrollan en hamburguesas. El Ae de orégano (*Origanum vulgare* ssp. *Hirtum*) fue el más activo y se estableció que la microencapsulación con goma arábiga como material de pared favorece su conservación, vehiculización y dosificación (González, 2007). Las microencápsulas de Ae de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) son más efectivas que el aceite sin encapsular, frente a *Listeria monocytogenes* en salchichas de hígado de cerdo (Pandit y Shelef, 1994). El uso de nanopartículas y nanocapsulados en alimentos y empaques alimenticios deben estar sujetos a pruebas de seguridad, antes de ser incluidos en el comercio de los productos de alimentos (Sorrentino *et al.*, 2007). En la actualidad algunos nanocompuestos ya son usados como material de embalaje o recubrimiento, para controlar la difusión de gases y prolongar el tiempo de conservación (Figura 3).



Figura 2. Nanoempaques para la conservación de la carne.

Cada vez se utilizan más productos basados en la nanotecnología para elaborar materiales de contacto con los alimentos dotados de propiedades antimicrobianas (Daniells, 2007); por ejemplo, el innovador diseño de sensores capaces de detectar contaminación bacteriana y reaccionar contra ella. Analistas de la nanotecnología suponen que entre 150-600 nanoalimentos y 400-500 aplicaciones de nanoempaque para alimentos cárnicos, ya están en el mercado (Ozimek *et al.*, 2010); un ejemplo de lo anterior es el envoltorio plástico Dur-than® KU 2-2601, usado para



Figura 3. Secado por liofilización de nanopartículas para prolongar el tiempo de conservación en productos cárnicos.

envolver embutidos, carne y queso. Este material contiene nanopartículas de sílice (*Si*) en un nano compuesto polimérico, que impiden la entrada de oxígeno y gas, alargando el tiempo de conservación del alimento (Helmut Kaiser Consultancy Group, 2007b). Otra de las aplicaciones son los microencapsulados de colorantes naturales para embutidos. De acuerdo con Garzón *et al.* (2012), el color proporcionado por la oleoresina microencapsulada en el chorizo se aleja de los valores de referencia, pero presentó mayor estabilidad en condiciones de humedad y temperatura extrema, comparada con la oleoresina de paprika extraída por fluidos supercríticos. Los microencapsulados de extractos de uva (*Vitis vinifera*) son eficaces en la lucha contra los patógenos, la oxidación de este alimento, y para mantener el color rojo, debido a su capacidad antioxidante y como aporte de pigmentos naturales (Huertas, 2010).

En la actualidad no existe una legislación completa para el uso de nanopartículas en productos cárnicos, ya que existe la posibilidad de que éstas entren en contacto con los alimentos (carne) y que al migrar contaminen el alimento, por lo que son necesarios más estudios al respecto. Por ello, antes de su aplicación industrial es importante considerar las regulaciones de los riesgos potenciales asociados a la nano-dimensiones y la posible migración de los iones metálicos en los alimentos o bebidas (Llorens *et al.*, 2012).

Nanotecnicas usadas en la conservación de la carne

Nano-empaques

Se usan compuestos nanoestructurados de plata (*Ag*), cobre (*Cu*) y zinc (*Zn*) que están en contacto con alimentos para su conservación (Llorens *et al.*, 2012). Como se mencionó, la plata es actualmente el antimicrobiano más usado. Sus partículas de tamaño nanométrico están inmovilizadas en polímeros de envasado de alimentos, lo que permite mayor

vida útil de la carne. Una desventaja es la incertidumbre acerca de si las partículas de *Ag* pueden migrar desde el empaque a la carne (Llorens *et al.*, 2012); de igual forma, se encuentra la viabilidad del *ZnO* (óxido de zinc) incorporado en nanocompuestos poliméricos destinados para el envasado de alimentos, la cual ya ha sido aprobada. Asimismo, las nanopartículas de cobre (*Cu*) se han distribuido en películas de quitosano, destinadas para aplicaciones de envasado de alimentos. Existen estudios que evalúan las propiedades antibacterianas y físicas del policloruro de vinilo (*PVC*) recubierto con película a base de nanopartículas de *ZnO*, que son eficientes contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. La película de *PVC* recubierta con nanopartículas de *ZnO* tiene buen potencial para usarse en el envasado de alimentos (Li *et al.*, 2010).

Nano-sensores

Los productos frescos y carnes presentan características que pueden ser fácilmente distinguidas por los consumidores; algunas de éstas son el color, olor, sabor u otras características sensoriales, que en ocasiones pueden estar alteradas por diferentes factores (Troy y Kerry, 2010). Como los materiales de envasado limitan la exposición sensorial, los consumidores deben confiar en las fechas de caducidad; por ello, los nanosensores están diseñados para detectar la presencia de gases, aromas, y contaminantes químicos y patógenos. Esto no sólo es útil para el control de la calidad y garantizar a los consumidores un punto ideal de frescura y sabor, sino que también tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria y reducir la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos. Más allá de los beneficios que ofrece a los compradores de supermercados y fabricantes de alimentos, los sensores basados en la nanotecnología tienen el potencial de revolucionar la velocidad y la precisión con la que las industrias o las instancias reguladoras detecten la presencia de contaminantes moleculares o adulterantes en matrices alimentarias complejas. Muchos de estos ensayos se basan en los cambios de color observados que se producen a las soluciones de nanopartículas de metal en la presencia de analitos (Duncan, 2011).

Detector de oxigeno

Dentro de las medidas que se deben tomar para mantener la calidad higiénica de la carne, está la regulación de la permeabilidad de los gases, como el oxígeno, ya que acelera el crecimiento de microorganismos aerobios que afectan la conservación de la carne (Taik, 2010; Flores *et al.*, 2011).

Actualmente se están ideando métodos de detección basados en la nanotec-

nología, como son los nanosensores. Por ejemplo, se ha desarrollado una tinta fotoactivada para la detección de oxígeno en paquetes de carne sobre la base de tamaño nanométrico de partículas del dióxido de titanio (TiO_2) o dióxido de estaño (SnO_2) y un tinte (azul de metileno) redox-activo; este detector cambia gradualmente de color en respuesta incluso a cantidades mínimas de oxígeno (Duncan, 2011).

Detector de aminas

Otros ejemplos de detección de gases relacionados con la seguridad o calidad de los alimentos incluye la detección de aminas gaseosas que son indicadoras del deterioro de la carne (Tamim y Doerr, 2003) y, en tales casos, los compuestos de nanopartículas de SnO_2 pueden detectar estos gases en el nivel de partes por millón (Li *et al.*, 2010).

Detector con inmunógenos

Los métodos de detección biológicos se dan también por las interacciones selectivas antígeno-anticuerpo. Una técnica conocida es la de separación inmunomagnética (SIM); ésta utiliza partículas magnéticas unidas a anticuerpos selectivos en combinación con un imán. El objetivo de la prueba es hacer una separación selectiva del *analito* a partir de la matriz del alimento (partículas magnéticas a nanoescala). Por ejemplo, si se quiere separar eficientemente algunas bacterias, la unión de anticuerpos selectivos de *L. monocytogenes* con nanopartículas de óxido de hierro (FeO) magnéticas, puede usarse eficientemente en la leche contaminada y de esta manera detectar estos microorganismos con análisis de PCR en tiempo real. Un enfoque similar se ha utilizado para aislar *E. coli* a partir de carne de vacuno recién molida, con más de 94% de eficiencia de captura y sin interferencia de otras especies bacterianas. Sin embargo, la mayor parte del trabajo en nanosensores o ensayos para analitos relacionados con los alimentos está todavía en las primeras etapas de desarrollo (Duncan, 2011).

Nano-antioxidantes

Existen estudios donde se ha evaluado la eficacia de la actividad antioxidante in vitro del β -caroteno y ácido α -lipoico en conjugación con un lípido encapsulado. Esta actividad fue determinada por la actividad captadora de radicales en estado libre. La nanoemulsión se preparó y se liofilizó para obtener nanocápsulas de un tamaño de partícula de 320.8 ± 1.48 nm para el ácido α -lipoico y 210.5 ± 1.23 nm para el β -caroteno (Sen y Ghosh, 2012), de tal forma que la nanotecnología es buena alternativa para evitar la auto-oxidación de ácidos grasos poliinsaturados de algunos alimentos (Xu *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

El uso de la nanotecnología en la producción cárnica, ya sea como parte de nuevos ingredientes alimenticios o como complementos en su procesamiento, es cada vez mayor; sin embargo, no se debe perder de vista la relación riesgo-beneficio. Por ello, es muy importante generar más información que pueda dar al consumidor la tranquilidad de colocar en su mesa un alimento sano y de buena calidad.

LITERATURA CITADA

- Buzea C., Pacheco B.I., Robbie K. 2007. Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*. 2:1-103.
- Cai S.J., Wu C.X., Gong L.M., Song T., Wu H., Zhang L.Y. 2012. Effects of nano-selenium on performance, meat quality, immune function, oxidation resistance, and tissue selenium content in broilers. *Poultry Science*. 91:2532-2539.
- Daniells S. 2007. Thing big, think nano. *Food Navigator.com Europe* 19 December 2007. Available at: <http://www.foodnavigator.com/news/ng.asp?n=82109> (accessed 29 April 2013).
- Duncan T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*. 363: 1-24.
- Flores R.C., Leal M., Ruiz R.J., Sánchez E., Moreno M., Castro G., Barboza Y. 2011. Tiempo de almacenamiento e identificación de bacterias ácido láctico en carnes de res picada empacadas al vacío. *Revista Científica, FCV-LUZ*. 21: 425-433.
- Garzón M.A.G., Londoño-Londoño J., Hurtado M.I.G., Cardona L.D.J.M., Rincón C.C.S. 2012. Aplicación de la pprika extraída por fluidos supercríticos y microencapsulada por spray-drying en un producto embutido. Una alternativa como colorante natural. *Revista Lasallista de Investigación*. Vol. 9. No. 2. Pag. 87
- González C., Margalef M.I., Molina A., Viturro C. 2007. Conservación de hamburguesas de carne por combinación de factores. temperatura, envase, envasado al vacío y aceite esencial de *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* encapsulado. *La industria cárnica latinoamericana*. 149p.
- Grodzik M., Sawosz E. 2006. The influence of silver nanoparticles on chicken embryo development and bursa of Fabricius morphology. *Journal Animal Feed Science*. 15:111-114.
- Helmut Kaiser Consultancy Group. 2007b. Strong increase in nanofood and molecular food markets in 2007 worldwide. <http://www.hkc22.com/Nanofoodconference.html>
- Huertas R.A.P. 2010. Revisin: Microencapsulacin de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronoma de Medelln*. 63(2), 5669-5684.
- Li X.H., Xing Y.G., Li W. L., Jiang Y.H., Ding Y.L. 2010. Antibacterial and physical properties of poly (vinyl chloride)-based film coated with ZnO

- nanoparticles. Food Science and Technology International. 16: 225-232.
- Llorens A., Lloret E., Picouet P.A., Trbojevich R., Fernandez A. 2012. Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. Trends in Food Science and Technology. 24: 19-29.
- NNI. 2007. National Nanotechnology Initiative: What is nanotechnology? Disponible en <http://www.nano.gov/html/facts/whatisNano.html>
- Pandit V.A., Shelef L.A. 1994, Sensitivity of *Listeria monocytogenes* to rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Food Microbiology, 11, 57-63.
- Ozimek, L., Pospiech, E., Narine, S. 2010. Nanotechnologies in food and meat processing. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria. 4: 401-412
- Sen G. S., Ghosh M. 2012. In vitro study of anti-oxidative effects of β -carotene and α -lipoic acid for nanocapsulated lipids. LWT-Food Science and Technology. 49: 131-138.
- Sorrentino A., Gorrasi G., Vittoria V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. Trends Food Science and Technology. 18:84-95.
- Taik L. K. 2010. Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. Meat Science. 86: 138-150.
- Tamin N. M., Doerr J. A. 2003. Effect of Putrefaction of Poultry Carcasses Prior to Rendering on Biogenic Amine Production. Poultry Science. 12: 456-460.
- Troy D. J., Kerry J. P. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. Meat Science. 86: 214-226.
- Xu J., Zhao W., Ning Y., Bashari M., Wu F., Chen H., Yang N., Jin Z., Xu B., Zhang L., Xu X. 2013. Improved stability and controlled release of 3/ 6 polyunsaturated fatty acids by spring dextrin encapsulation. Carbohydrate Polymers. 92: 1633-1640.
- Zha L.Y., Zeng J.W., Chu X.W., Mao L.M., Luo H.J. 2009. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. Journal Science and Food Agriculture. 89:1782-1786.
- Zhou X., Wang Y. 2011. Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. Poultry Science. 90:680-686.



LA NANOTECNOLOGÍA MÉDICA

Ruiz-Posadas, L.M.^{1,2};
Salazar-Aguilar, S.^{1,2}

¹Programa de Botánica, *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Estado de México, CP. 56230. ²LPI 13: Comunidades Rurales Agrarias, Ejidos y Conocimiento Local del Colegio de Postgraduados.

Autor responsable:
lucpo@colpos.mx



RESUMEN

La nanotecnología ofrece grandes oportunidades en el tratamiento de enfermedades humanas que pueden ahorrar desde tiempo y recursos financieros, hasta incrementar notablemente la eficiencia misma del tratamiento y prevenir padecimientos a través de la detección, aun sin presentar síntomas; sin embargo, su uso debe ser monitoreado y evaluado para no rebasar los límites de la ética y los posibles efectos colaterales que pueden darse. Una de las limitantes en países menos desarrollados puede ser su acceso a un mayor número de habitantes, así como la presencia de especialistas que desarrollen investigación y aplicación de la misma.

Palabras clave: nanomedicina, bioética, diagnóstico, salud pública.

INTRODUCCIÓN

Una enfermedad es el conjunto de trastornos psíquicos y/o fisiológicos provocados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos, y puede ser identificada y clasificada de acuerdo con signos, síntomas y/o estudios auxiliares de diagnóstico (Vélez, 2003; NOM-017-SSA2, 1994). Comprender a la enfermedad como un proceso dinámico que se inicia por el desorden de una estructura específica e individual (alteración de la estructura-función) (Núñez-Cortés y Del Llano, 2012) es uno de los principales objetivos de la salud pública, a través de observaciones e investigaciones bien diseñadas (UNAM, 2011). Tanto la salud como la enfermedad son influenciadas por factores sociales, culturales, económicos, ambientales y genéticos. Este último tiene gran importancia por su participación en enfermedades como: cáncer, diabetes, Alzheimer, artritis, enfermedades cardiovasculares y malformaciones congénitas, entre otras (Piédrola, 2002).

Importancia de la tecnología

Aunque mucho se ha hablado de que el desarrollo tecnológico afecta las relaciones médico-paciente (Moreno, 2006), es inevitable aceptar que gracias a eso los diagnósticos, tratamientos y seguimiento de las enfermedades son cada día más eficaces y seguros. Durante los últimos 30 años el desarrollo tecnológico ha permitido que los diagnósticos médicos se realicen con mayor precisión y que algunos problemas de salud se puedan detectar en etapas muy tempranas de desarrollo. De la misma manera, el tiempo en que se realizan las operaciones y que necesita el paciente para recuperarse ha disminuido notablemente. Aunado a lo anterior, el desarrollo de redes mundiales de información sanitaria y la automatización de registros permiten a los médicos mayor competitividad en el tratamiento de las enfermedades (Alfonso *et al.*, 1999). En los últimos años, con el desarrollo de la nanotecnología se han introducido nuevos métodos de diagnóstico que prometen ser menos invasivos y más precisos. De aquí que los principales objetivos de la nanotecnología médica se pueden resumir de la siguiente manera: diagnóstico y tratamiento temprano de enfermedades desde el interior del organismo, así como el monitoreo de las funciones biológicas a escala celular, molecular y atómica, con el fin de preservar la salud y bienestar del ser humano (Clavijo *et al.*, 2008).

Diagnóstico

El diagnóstico temprano se logra gracias al uso de aparatos a nano escala que permiten a los médicos especialistas identificar la presencia de enfermedades, incluso si los pacientes no presentan ningún síntoma; de esta manera, los tratamientos pueden ser menos largos y más exitosos. Las imágenes obtenidas mediante fluoroscopia, puntos cuánticos (constituidos por cristales semiconductores que brillan o fluorescen cuando reciben luz láser), resonancia magnética, cámaras gama y ecografía presentan mejor resolución, gracias al uso de nanopartículas como las superparamagnéticas de óxidos metálicos de hierro

y cobalto, usadas como agentes de contraste (Brewer *et al.*, 2007; Castagnino, 2008; Clavijo *et al.*, 2008), lo que permite observaciones en diferentes planos para realizar la detección y el monitoreo preciso del desarrollo de enfermedades y de la liberación y acción de algunos fármacos.

Otro gran avance en la medicina es la mayor sensibilidad de los aparatos utilizados para realizar diagnósticos, ya que gracias a ello el tamaño de las muestras para las pruebas ha disminuido y el tiempo de espera es menor, lo que ha incrementado la precisión de los mismos. En la actualidad existe una gran cantidad de enfermedades que tienen repercusión en la salud pública; es decir, padecimientos que presentan alto impacto en la salud colectiva (Cuadro 1), tales como: diabetes mellitus, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y diferentes tipos de cáncer.

En este contexto, la nanotecnología se vislumbra como una herramienta muy importante para reducir el número de fallecimientos ya que, al diagnosticarse a tiempo, es decir, en etapas tempranas del desarrollo de la enfermedad, el tratamiento que se proporcione al paciente será mucho más efectivo.

Cuando existe una enfermedad se presentan cambios metabólicos que producen moléculas que pueden ser identificadas como características de ciertos desórdenes fisiológicos; a estas sustancias se les conoce como marcadores y pueden afectar las funciones celulares, la transducción de señales y hasta el ciclo celular. Para

Cuadro 1. Estimación de muertes a nivel mundial en países en desarrollo en 2008 (World Health Organization, 2011)

Causa	Número estimado de muertes (millones)	Total de muertes (%)
Cardiopatía isquémica	7.25	12.8
Afección cerebrovascular	6.15	10.8
Infecciones de las vías respiratorias inferiores	3.46	6.1
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	3.28	5.8
Enfermedades diarreicas	2.46	4.3
VIH/SIDA	1.78	3.1
Cáncer de tráquea, bronquios o pulmón	1.39	2.4
Tuberculosis	1.34	2.4
Diabetes mellitus	1.26	2.2
Traumatismos por accidentes de tráfico	1.21	2.1

realizar diagnósticos efectivos se realiza la producción de instrumentos a nanoescala que pueden atravesar los vasos sanguíneos y circular por todo el cuerpo, de tal manera que podrán identificar los marcadores relacionados con la enfermedad específica. A estos dispositivos se les da el nombre de “laboratorio en un chip”; entre sus aplicaciones se incluyen la detección de microorganismos, el monitoreo de metabolitos en líquidos corporales, y la detección de patología tisular, como el cáncer (Cuadros *et al.*, 2009; De Silva, 2007; Zuo *et al.*, 2007).

Terapias

Con la información recabada, se pasa de inmediato al tratamiento de la enfermedad, que en la mayoría de los casos consiste en sistemas de liberación controlada que actúan en estructuras celulares específicas del cuerpo humano y que tienen mayor biodisponibilidad (Munoa, 2009). Para esto se utilizan nanoestructuras transportadoras del fármaco, como nanopartículas, implantes activos, dendrímeros, liposomas, microgeles, nanoemulsiones, nanotubos, e ingeniería tisular (Figura 1). Cuando los bio

receptores han reconocido el sitio de acción (se reconoce el marcador), se produce una reacción que propicia el inicio de la liberación controlada del fármaco (Brewer *et al.*, 2007; De Silva, 2007; Irache, 2008; Lechuga, 2011; Lollo *et al.*, 2011).

En el caso del tratamiento del cáncer, enfermedad que hasta la fecha es la responsable de millones de muertes a nivel mundial, los tratamientos actuales se limitan a radiación, quimioterapia y operaciones altamente invasivas que consisten en la extirpación de zonas del cuerpo que, por su tamaño, en ocasiones conllevan consecuentemente a una alteración de la salud integral del paciente, quien necesitará de apoyo psicológico para poder reincorporarse a su actividades cotidianas. Una de las principales dificultades se presenta con el uso de la quimioterapia (administración de compuestos citotóxicos), que pueden ocasionar problemas orgánicos diversos debido a la inespecificidad de los químicos administrados, ya que no sólo atacan a las células cancerígenas, sino que debilitan grandemente al sistema inmunológico (Blasco e Inglés. 1997).

Para estos pacientes la nanotecnología médica ofrece alternativas, como el uso de nanopartículas y nanotubos magnéticos que se colocan en las células y que, por exposición a un campo magnético alterno, se calientan y alcanzan temperaturas entre 40 y 45 grados Celsius (°C), provocando la muerte de las células cancerosas (Jordan *et al.*, 1999). El uso de nanomedicamentos de liberación controlada es otra de las opciones que ya se está manejando, lo que ayuda a reducir tanto la dosis administrada como la toxicidad producida, debido a que se fabrican con materiales biodegradables (Oropesa y Jáuregui, 2012).



Figura 1. La elaboración de nanopartículas como portadores de fármacos, será de suma utilidad para tratar la enfermedad en el lugar donde se desarrolla.

Es un hecho que gracias a la nanotecnología de materiales las características de las superficies se están mejorando enormemente, los aparatos e implantes introducidos al cuerpo humano tendrán mayor durabilidad, mejor biocompatibilidad y funcionamiento (lo que podrá incrementar el tiempo necesario para cambiarlo), y serán de menor tamaño, en caso de así requerirlo. Es muy importante su papel en la medicina regenerativa, ya que se pueden construir matrices estructuradas que sirvan de soporte para el desarrollo de tejidos. Estas matrices tienen el potencial de interactuar con componentes celulares y dirigir la proliferación, la diferenciación celular y la organización de la matriz extracelular (Mejias *et al.*, 2009); además, la encapsulación previa al trasplante brinda mayor probabilidad de éxito para la permanencia del tejido u órgano trasplantado (Santana, 2012).

Perspectivas

Se podrá consolidar la medicina personalizada y realizar el diagnóstico de enfermedades, incluso antes de que se manifiesten síntomas, además de seleccionar el tipo y dosis del medicamento que se administre con base en el estado general del paciente y, quizá, las visitas a los consultorios médicos serán cada día menos frecuentes, ya que se podrán realizar de manera remota a través de la conexión de un “laboratorio en chip” (Figura 2).

Se está trabajando en la posibilidad de condensar el ADN en nanopartículas que podrán ser ingresadas a las células con la finalidad de liberarlo en el núcleo. El objetivo de esto es la liberación de genes funcionales que podrán corregir trastornos genéticos como la hemofilia, la fibrosis quística y la distrofia muscular (Zuo *et al.*, 2007).

Otro aspecto relevante será la elaboración de nanovacunas que promuevan la captación del antígeno por las células presentadoras del antígeno que modularán la respuesta inmune, representando ventajas sobre las terapias tradicionales, al igual que la terapia génica que trata de inducir la expresión de una proteína terapéutica o, en caso contrario, suprimir la de una aberrante para la terapia de cáncer y diabetes mellitus (Lollo *et al.*, 2011).

En cuanto al tratamiento del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA), la terapia actual se basa en la administración de agentes antirretrovirales que no curan la enfermedad; sin embargo, se ha creado una vacuna *ex vivo* que



Figura 2. Con el tiempo, y gracias a la nanomedicina personalizada, las visitas a los consultorios médicos se harán menos frecuentes.

busca su remisión y que está diseñada para incrementar la respuesta inmune celular del *tipo Th1* específica del antígeno en personas portadoras (Nátz y Lisiewicz, 2012).

Otro avance importante se refiere al control del sangrado (Figura 3), para lo que se pueden utilizar soluciones nanohemostáticas, manteniendo la integridad de las células vecinas y, por lo tanto, que se acelere el proceso de regeneración (Clavijo *et al.*, 2008).

Todo lo anterior ayudará a que el control y tratamiento de las enfermedades sea más efectivo y con una notable reducción de efectos secundarios que muchos otros tratamientos convencionales provocan en el paciente (Mejias *et al.*, 2009).



Figura 3. El tratamiento de heridas será más eficaz con el uso de soluciones nanohemostáticas

Puntos a discusión

A pesar de que la nanotecnología se ha presentado como la panacea de este siglo como una herramienta que ayudará a resolver prácticamente todos los problemas, uno de los asuntos más discutidos gira alrededor del impacto que pueda tener en los sectores más pobres de los países en desarrollo. La polémica entre la dignidad humana y la justicia social inicia con la siguiente pregunta: ¿Estarán éstas tecnologías médicas al alcance de los sectores de la población con pocos ingresos económicos?

Para evitar desigualdad, la práctica de la nanotecnología médica o nanomedicina debe estar dirigida por una ética que considere el principio de equidad en el acceso a los procedimientos nanomédicos (Bawa y Johnson, 2007; Álvarez-Díaz, 2011; Cárdenas-Morales *et al.*, 2011). Replanteamientos en la ética médica son importantes, ya que se manejará mucha información que debe ser cuidadosamente transmitida al paciente y a sus familiares (Figura 4).

¿Qué tanto es bueno saber?

¿Cómo se manejará la información obtenida?

Los nanoaparatos utilizados en el diagnóstico de enfermedades permitirán recoger un gran volumen de datos individuales, por lo que se debe garantizar la confidencialidad de los mismos (Bawa y Johnson, 2007).

Por lo tanto, la nanomedicina busca el bienestar del paciente mediante la detección temprana de enfermedades, un tratamiento menos traumático y un resultado clínico exitoso; sin embargo, será deber de todo profesional de la salud explicar adecuada-

mente al público los beneficios y los riesgos que el uso de esta nanotecnología conlleva (Bawa y Johnson, 2007; Castro, 2012).

Debido a que la terapia nanomédica implica el uso de dispositivos muy pequeños (nanopartículas, liposomas, nanotubos, etcétera), existe la posibilidad de que atraviesen la barrera hematoencefálica o entren fácilmente en las células y que, a largo plazo, ocasionen un daño en los tejidos sanos, ya que no existe un seguimiento de su comportamiento hasta el momento (Álvarez-Díaz, 2011; Bawa y Johnson, 2007).

Otro punto es el replanteamiento de la definición de las palabras enfermedad y salud, ¿desde qué nivel de complejidad (atómico, molecular, celular, genético) se podrá decir que la persona está enferma? (Bawa y Johnson, 2007). No se debe olvidar la situación socioeconómica de algunos países, ya

que para los más pobres el desarrollo de nanotecnología constituye un gran inconveniente, pues la inversión que representa es muy alta, aunado al hecho de que no sólo debe invertirse en el desarrollo tecnológico *per se*, sino en la capacitación de personas que puedan desarrollarla y manejarla.

CONCLUSIONES

El hecho de que los científicos e investigadores no estén acostumbrados a trabajar de manera interdisciplinaria, aunado a la poca vinculación entre los centros de investigación, universidades, industria, Estado y población, es sólo parte del problema. En México, un indicador fehaciente de ello es el bajo número de patentes registradas, lo que no es de extrañar si tomamos en cuenta que para 2011 sólo se invirtió 0.68% del Producto Interno Bruto (PIB) en los sectores de investigación y desarrollo, siendo que el Banco Mundial recomienda que los países deberían destinar entre 1 y 1.5% del PIB al desarrollo de ciencia y tecnología (Záyago-Lau y Foladori, 2010; Foladori e Invernizzi, 2006).



Figura 4. El manejo adecuado de la información recabada deberá ser regulado por códigos de ética médica.

La situación actual en muchos países en desarrollo hace que la aplicación práctica de los avances nanotecnológicos en medicina sea muy difícil debido a su alto costo. Además, se deberán implementar políticas y regulaciones para que se realice un monitoreo para conocer el destino, permanencia y consecuencias que las aplicaciones nanotecnológicas tienen en el ser humano y en el ambiente. De lo anteriormente expuesto, el apoyo para el desarrollo de centros de investigación nanotoxicológica que analicen desde distintas perspectivas los riesgos y ventajas reales de la nanotecnología, resulta una tarea preponderante (Álvarez-Díaz, 2011; Cárdenas-Morales *et al.*, 2011).

LITERATURA CITADA

- Alfonso S.I.R., Báez R.M., Tillán G.S., Alvero P.Y. 1999. Reflexiones: información, tecnología y salud. *Revista Cubana de Medicina General Integral*. versión On-line ISSN 1561-3038. 15(5).
- Álvarez-Díaz J. 2011. Retos de la Bioética en la Medicina del XXI. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 28(4): 657-63.
- Bawa R., Johnson S. 2007. Dimensiones éticas de la nanomedicina. *Medical Clinics of North America* 91:881-887.
- Blasco T., Inglés N. 1997. Calidad de vida y adaptación a la enfermedad en pacientes de cáncer durante el tratamiento de quimioterapia. *Anuario de Psicología*. Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona. 72(8):1-90
- Brewer M., Zhang T., Dong W., Rutherford M., Tian R. 2007. Futuros abordajes de la nanomedicina en la ciencia clínica. *Medical Clinics of North America* 91:963-1015.
- Castagnino J.M. 2008. Proteómica Y Nanotecnología. Editorial. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 42 (1): 1-3
- Cárdenas-Morales B., Cid-Velasco M. del C., Silva-García A. 2011. Implications Bioethics de la Nanobiotecnología y la Nanomedicina. En *Actas del VIII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Bioética*. Bioética global, y debates al inicio y fin de la vida en Latinoamérica. Santiago de Chile. 17-24.
- Castro F. 2012. IX Encuentro Internacional de Intelectuales y Artistas en Defensa de la Humanidad. Panel: "Ciencia como paradigma de cultura?". *Nanotecnología, Cultura y Sociedad: Ética y Desarrollo Sostenible*. Río de Janeiro, Brasil. 25 p.
- Clavijo G.D., García G.A., Alfonso C.C. 2008. Nanotecnología en el diagnóstico y tratamiento médico. *Universidad de Medicina*. Bogotá (Colombia), 49 (3): 388-398
- Cuadros C.M., Llanos M.A., Villegas P.R. 2009. Nanotecnología en Medicina. Informe de síntesis de tecnología emergente. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía. (Colección: Informes, estudios e investigación. Ministerio de Sanidad y Política Social. Serie: Informes de Evaluación de Tecnologías Sanitarias) 48 p.
- De Silva M.N. 2007. Nanotecnología y Nanomedicina: un nuevo horizonte para el diagnóstico y tratamiento médico. *Archivo de la Sociedad Española de Oftalmología*. 82:331-334.
- Foladori G., Invernizzi N. 2006. La nanotecnología: una solución en busca de problemas. *Comercio Exterior*. 56(4): 326-334.
- Irache J.M. 2008. Nanomedicina: nanopartículas con aplicaciones médicas. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 31(1):7-10.
- Jordan A., Scholz R., Wust P., Fahling H., Roland F. 1999. Magnetic fluid hyperthermia (MFH): Cancer treatment with AC magnetic field induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 201:413-419
- Lechuga G.L. 2011. La revolución de la Nanomedicina. Grupo de Nanobiosensores del Centro de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (CIN2: CSIC-ICN) y CIBER-BBN en Nanomedicina. *Sedisa* 5:38-43
- Lollo G., Rivera R.G., Torres D., Alonso M.J. 2011. Nanoterapias oncológicas: aplicaciones actuales y perspectivas futuras. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 77(4):76-98
- Mejias Y., Cabrera N., Toledo A.M., Duany O.J. 2009. La nanotecnología y sus posibilidades de aplicación en el campo científico-tecnológico. *Revista Cubana de Salud Pública*. 35(3):1-9.
- Moreno R.M.A. 2006. Ética, tecnología y clínica. *Revista Cubana de Salud Pública*. Versión on-line ISSN 0864-346632(4).
- Munoa J.L. 2009. Nuevas cuestiones de Ética Médica. *Eguzkilore* 23:151-157.
- Nátz E., Lisziewicz J. 2012. Perspectivas de curación: DermaVir, una vacuna de ADN con efecto terapéutico contra el VIH/sida y desarrollada racionalmente. *Actualizaciones en SIDA*. Buenos Aires. 20(76): 38-47
- Norma Oficial Mexicana, NOM-017-SSA2. 1994. Para la vigilancia epidemiológica. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Salud.
- Núñez-Cortés J., Del Llano J.E. 2012. Ser Médico Los valores de una profesión. Unión Editorial. Universidad Complutense Madrid. Cátedra de educación Médica Fundación Lilly. España. 385 p.
- Oropesa Núñez R., Jáuregui-Haza U.J. 2012. Las nanopartículas como portadores de fármacos: características y perspectivas. *Revista CENIC de Ciencias Biológicas*. 43(3). Versión on line ISSN: 2221-2450
- Piédrola G. 2002. La salud y sus determinantes. En: *Medicina preventiva y salud pública*. 10ª edición. Masson:Barcelona. pp 1-12.
- Santana H.S.R. 2012. Aplicaciones de la nanotecnología en medicina regenerativa. *Revista de Química de la Universidad Pablo de Olavide*. 6: 117-119
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2011. Cáncer: Investigaciones de la UNAM. Boletín Informativo de la Coordinación de la Investigación Científica. *El Faro la luz de la ciencia* 3:124-125.
- Vélez L.A. 2003. Ética Médica. Interrogantes acerca de la medicina, la vida y la muerte. Corporación para investigaciones biológicas. Medellín, Colombia. p 58.
- World Health Organization. 2011. The top 10 causes of death. Documento electrónico. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/index.html>
- Záyago-Lau E., Foladori G. 2010. La nanotecnología en México: Un desarrollo incierto. *Economía, Sociedad y Territorio*. 10(32):143-178
- Zuo L., Wenchi W., Michael M., Jinchi W., Mikhail G., Chimimg W. 2007. Nuevas tecnologías y aplicaciones clínicas de la nanomedicina. *Medical Clinics of North America* 91:845-861.

El riego:

Factor clave para evitar la erosión

Escobosa-García, M.I.¹; Bali, K.M. ²; Soto-Ortiz, R.¹; Pérez-Márquez, A.¹; Escobosa-García, L.F.¹; Cárdenas-Salazar, V.¹; Avilés-Marín, S.M.¹; Ruiz-Alvarado, C.¹; Araíza-Zúñiga, D¹; González, L.; Núñez-Ramírez, F.¹; Román-Calleros, J.A.¹; Escoto-Valdivia, H.¹

¹Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California.² University of California Cooperative Extension.

Autor responsable: isabel.escobosa@uabc.edu.mx

RESUMEN

Los sedimentos en suspensión en el agua de riego causan una serie de daños al medio ambiente cuando se convierten en escorrentías y llegan a los espejos de agua, tales como la atenuación de la luz que reduce la fotosíntesis, irritación de las branquias de los peces por el transporte de los contaminantes adsorbidos y hasta asfixia, por lo que la medición de los atributos ópticos de sólidos en suspensión es relevante como Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU por sus siglas en inglés). El índice de dispersión de la luz por partículas suspendida, ha sido ampliamente utilizado como un instrumento de sedimentos en suspensión, que también se relaciona más directamente que la concentración en masa a efectos ópticos de materia en suspensión. Sin embargo, la turbidez es sólo una medida relativa de dispersión. En este trabajo se compararon dos tiempos de corte en el sistema de riego por melga a 75 y 100%, con respecto a la longitud de la melga, con tres repeticiones durante dos años; para su análisis se utilizó un diseño completamente al azar. El objetivo fue concientizar que el manejo del riego es un factor clave para evitar la erosión de los suelos y reducir los sólidos totales disueltos (STD). Los resultados no mostraron significancia estadística ($p > .05$) sobre los STD; sin embargo, se concluyó que con el corte de riego al 100% se observó una mayor pérdida de STD.

Palabras clave: sedimentos, turbidez, NTU.

INTRODUCCIÓN

El Valle Imperial está situado en el noroeste del Desierto Sonorense, y presenta una precipitación anual cercana a 76 milímetros por año (Mayberry y Meister, 2003). La producción agrícola de esta región es totalmente dependiente del agua de riego, la cual es derivada del Río Colorado a través del *canal Todo Americano* y distribuida por el sistema de irrigación mayor del sur de California. Cerca de 3.45×10^9 m³ de agua del Río Colorado se vierten anualmente para regar más de 202,342 ha, de las cuales el 80% se siembran con los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*), trigo (*Triticum aestivum*) y sudán (*Sorghum sudanense*) (Agricultural Commissioners', 2011). El riego por melgas y por surcos son los métodos principales en el Valle Imperial, y se utiliza en más del 90% de la superficie cultivada. El riego por goteo se utiliza en menos de 5%, sobre todo en cultivos de hortalizas, mientras que el de aspersión es utilizado para germinar algunos cultivos, cambiando a riego por melgas o surco una vez que el cultivo es establecido.

Problemática

La descarga de sedimentos al drenaje agrícola en el Valle Imperial es de 2.5 ton ha⁻¹ aproximadamente (Bali, 2002); estudios realizados por Haan y Hayes (1994) registraron para una área de estudio de 65 ha el aporte de 772 kg de sedimentos para el cultivo de alfalfa (*M. sativa*), otros estudios realizados por Vicent (1999), concluyeron que los cultivos de cobertura total como la misma alfalfa contribuyen hasta con 20% del aporte total de sedimentos a los drenes (Agricultural Commissioner, 2011). La alfalfa requiere de aproximadamente 16 riegos durante el año, con una frecuencia de dos riegos entre cada corte. El método de riego utilizado en el Valle Imperial, es de "*melgas abiertas al pie*", y durante un riego el flujo de agua a la parcela es cortado cuando el frente de ésta alcanza alrededor del 80% de la longitud del campo, de la cual entre el 15% y 20% del volumen del agua aplicada termina como escurrimiento superficial (Meister *et al.*, 2004).

La presencia de sedimentos en suspensión, principalmente fertilizantes y otros componentes adsorbidos en el agua de riego, ha provocado impactos negativos en la calidad del agua y pueden causar problemas ambientales en el futuro mediano (Davies-Colley y Smith, 2001). Aproximadamente 30% de aguas residuales aplicados en la cuenca del Mar Sal-

ton (lago salado y endorreico ubicado en el sur de California, al suroeste de Estados Unidos) termina como agua de drenaje. La concentración media de sedimentos en suspensión que se drena a los ríos en el Valle Imperial oscila entre 350 y 400 mg L⁻¹, y el promedio de carga de sedimentos de los drenajes y ríos en el mismo valle es de más de 500,000 toneladas por año. Además de la pérdida y erosión de las partículas del suelo productivo, se arrastran cantidades considerables de fósforo (P) del suelo en concentraciones de entre 0.5 a 1.0 mg L⁻¹ soluble en el agua de drenaje, las que con tiempo terminan en el Mar de Salton. Lo anterior genera una variable denominada turbidez, la cual se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) y se utiliza a menudo como un índice aproximado del contenido de sedimentos en suspensión del agua, y se considera un indicador aproximado de la claridad del agua (Davies-Colley *et al.*, 1993). La reducción de la carga y concentración de sedimento en suspensión en escorrentía tienen numerosos beneficios, dentro de los cuales resaltan la propia economía del agua, así como la regulación de la carga de otros contaminantes tales como plaguicidas y fertilizantes que se adjuntan a la erosión. En un afán de concientizar que el riego adecuado es un factor clave para evitar la erosión de los suelos y evitar problemas ambientales en el mediano plazo, se intentó determinar si la turbidez es significativa y afectada por el manejo del riego en melgas, amén de conocer las condiciones físicas del suelo, a fin de evitar la pérdida de agua y de sólidos totales disueltos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en el Condado Imperial, localizado en la parte sureste del Estado de California (32° 44' N y 115° 25' O); la temperatura en época invernal es de 16 °C en promedio, con un rango de -1.1 °C en enero y máximas de 43 °C en julio-agosto. La precipitación media anual es de 75 mm, y humedad relativa de 16-60% (Mayberry y Meister, 2003). Suelo arcillo-arenoso con 60-70% de la fracción de arcilla tipo montmorillonita (una arcilla mineral con una gran área de superficie), y en la capa superficial se presenta como arcillo-limoso con 2.14 a 2.74 m de espesor y descansa sobre estrato arenoso. La capa de arcilla tiene baja permeabilidad y la salinidad del suelo es variada, con un promedio en los extractos de

saturación de entre 2 y 12 dS m^{-1} y una relación de absorción de sodio (RAS) de 5 a 15, e infiltración básica de 0.02 mm por día (Zimmerman, 1981).

Material biológico y manejo del cultivo

Se estableció el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) en un lote de 32.5 ha, siguiendo las recomendaciones de la Universidad de California (Meister *et al.*, 2004); se sembró la variedad CUF-101 con una densidad de 34 kg ha^{-1} de semilla en melgas de 60 m de ancho y 365 m de largo. Se formularon dos tratamientos (tratamiento 1=agua de riego aplicada con el corte al 100%; tratamiento 2=agua de riego aplicada con el corte al 75% durante dos años con tres repeticiones (Cuadro 1).

Muestra de agua de riego en campo

Midiendo como única variable la turbidez, en el riego al corte de 100 y 75%; de los 26 riegos evaluados en dos años de estudio, se analizaron en total 468 muestras, para lo cual se utilizó un muestreador que consistía en tubo extensible de 2 m de largo y 1.27 cm de diámetro, donde en uno de sus extremos se sujetó un recipiente

Cuadro 1. Distribución de tratamientos de riego y porcentaje de recorte (2006-2007).

Año	M1	M2	M3	M4	M5	M6
2006	100%	75%	75%	100%	100%	75%
2007	100%	75%	75%	100%	100%	75%

M: Melga; Tratamiento 1: Agua de riego aplicada con el corte al 100%. Tratamiento 2: Agua de riego aplicada con el corte al 75%.

para depositar la muestra. La recolección se hizo en botellas de plástico de 250 mm (Figura 1 A) que se identificaron en forma individual por medio de una etiqueta donde se describió el número de proyecto, fecha, hora, la procedencia y el nombre de la persona que tomó la muestra (Figura 1 B). Se tomaron tres muestras de agua por cada tratamiento en intervalo de 15 minutos entre cada muestra, para proseguir con la lectura y obtener un promedio de turbidez en el riego al corte de 100 y 75%. Todos los procedimientos de laboratorio se apegaron a las normas de seguridad para laboratorio de la Universidad de California Davis (UC Davis, 2001). Para obtener

los datos de turbidez se utilizó un turbidímetro marca Hach modelo DR 890 (Figura 1 C), aplicando el método 180.1 (EPA, 1984), con la precisión que se muestra en el Cuadro 2.

Este procedimiento se efectuó en un lapso no mayor de 48 horas después de la toma de muestras, y antes de tomar la lectura el equipo fue calibrado de acuerdo con un procedimiento establecido y los datos se expresaron en NTU (unidad nefelométrica de turbidez) y posteriormente se convirtieron a Total de Sólidos Suspensos (TSS) en mgL^{-1} , utilizando la ecuación: $\text{TSS}=3.6 (\text{NTU}^{0.8})$, que se deriva del método de calibración del

Cuadro 2. Precisión del Turbidímetro Hach modelo DR 890.

Parámetro	Método	Unidad	Detección límite	Sensibilidad	Precisión	Exactitud
Turbidez (US-EPA)	180.1	NTU	<0.02	0.01	± 10	± 10

Figura 1. A: Muestreo de agua de riego. B: Conservación de las muestras recolectadas. C: Turbidímetro marca Hach modelo DR 890.



Hach DR 890. Para configurar la información obtenida en el presente estudio, que permitió además la estimación sobre la variable de interés, se utilizó el paquete estadístico UANL (Olivares, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Cuadros 3 y 4 muestran los valores de mínimos cuadrados obtenidos de los riegos con cortes al 100 y 75% respectivamente, obteniendo un promedio de 60.6609 para el tratamiento 1, y de 59.7194 para el tratamiento 2. A este respecto, Bali *et al.* (2001) y Escoboza y Bali (2010) compararon tratamientos semejantes (cortes de riego a 100 y 75%) utilizando el sistema Wallender *et al.* (1979), el cual sugiere que se debe conocer las condiciones físicas del suelo para definir el tiempo de corte del riego y así evitar pérdida de agua y sólidos totales disueltos, encontrando diferencias significativas ($P < .05$) entre el método Wallender *et al.* (1979) y los cortes de riego de 100 y 75%.

El análisis de varianza de la evaluación de tratamientos (corte de riego a 100 y 75%), mostró que los efectos de éstos no resultaron significativos ($P > .595$) sobre los sólidos tota-

les disueltos (SDT), sin embargo, al utilizar cortes de riego al 100% se registra mayor pérdida de SDT.

CONCLUSIONES

El regador es un factor clave para evitar la erosión de los suelos; se sugiere conocer las condiciones físicas de los suelos para determinar el tiempo de corte en el sistema de riego por melgas, evitando la pérdida de agua y de sólidos totales disueltos, así como continuar con los estudios hidrológicos de Buenas Prácticas de Manejo (BPM) del agua; se recomienda la utilización del Turbidímetro como un auxiliar de prevención de la erosión de los suelos agrícolas.

LITERATURA CITADA

- Agricultural Commissioners'. 2011. California Agricultural Statics Service. Summary of County Reports Imperial County. [Ucce.ecdavis.edu/counties/commun/countyagreports.pgl](http://ucce.ecdavis.edu/counties/commun/countyagreports.pgl)
- Bali K.M., M. E. Grismer, and I. C. Tod. 2001. Reduced-Runoff Irrigation of Alfalfa in Imperial Valley, California. *Journal of irrigation and drainage engineering*. May-June pp: 123-130.
- Bali K.M. 2002. Reduce Pollution with proper fertilizer timing. University of California Agriculture & Natural Resources. Cooperative Extension, Imperial County. <http://ucanr.prg/delivers>

Cuadro 3. Resultados Sólidos Totales Disueltos (STD) año 2006.

Fecha de Riego	Tratamiento 1 STD mg L ⁻¹ Corte del riego 100%	Tratamiento 2 STD mg L ⁻¹ Corte del riego 75%
3/27/2006	41.32723198	43.38359508
4/6/2006	29.75550879	53.24642147
4/27/2006	39.32886123	78.91110064
5/10/2006	43.88286302	42.73814451
5/29/2006	47.358972	43.82387836
6/7/2006		
6/26/2006	58.33542975	63.42969981
7/11/2006	38.6448835	39.40933817
7/26/2006	67.44998773	56.90231279
8/14/2006	26.27726253	42.6214416
9/11/2006		
9/28/2006	42.76470253	33.72765268
11/6/2006	84.70818913	109.1703063
12/20/2006	91.73293566	60.27434257
Promedio	50.96390232	55.6365195

STD: Sólidos Totales Disueltos

Cuadro 4. Resultados Sólidos Totales Disueltos (STD) año 2007

Fecha de Riego	Tratamiento 1 STD mg L ⁻¹ Corte del riego 100%	Tratamiento 2 STD mg L ⁻¹ Corte del riego 75%
1/31/2007	148.9615504	92.97187018
3/24/2007	76.30809248	103.5288742
4/8/2007	67.71340444	62.64700118
4/28/2007	77.0733631	82.82732001
5/10/2007	55.59270535	64.8859881
6/2/2007	68.07310162	68.05172537
6/11/2007	54.11529839	46.5854573
6/28/2007	58.30051969	39.16703176
7/13/2007	47.65009246	44.26917022
7/31/2007	54.38461446	81.31701781
8/20/2007	73.66460827	51.37091299
9/9/2007	39.64767045	36.98679056
10/11/2007	129.7445519	93.44059692
11/1/2007	33.78217258	25.18274177
Promedio	70.35798182	63.80232131

- Colley D.R.J., Smith D.G. 2001. Turbidity suspended sediment, and water clarity. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 37, No. 5.
- Davies-Colley R. J., D. G. Smith. 2001. Turbidity, suspended sediment and water clarity: a review. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37:1085-1101.
- Davies-Colley R. J., W. N. Vant, and D. G. Smith. 1993. *Colour and Clarity of Natural Waters*. Ellis Horwood, New York, New York. 310 p.
- EPA. 1984. *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. Method 180.1
- Escoboza-García L.F., Bali K.M. 2010. Optimización del uso del agua de riego en alfalfa sembrada en suelos arcillosos en el Valle Imperial, California, USA. *Biotecnia*; volumen XII, número 1, enero-abril 25-34.
- Maybery K. S., H. Meister. 2003. *Cost of production, field crops*. University of California Cooperative Extension.
- Meister H. K., K. M. Bali, E. T. Natwick, T. Turini, y J. N. Guerrero. 2004. *Guidelines to production costs and practices for Imperial County-Field crops*. UCCE_Imperial County Circular 104-F. <http://ceimperial.ucdavis.edu>.
- Olivares. 2005. *Paquete estadístico*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vicent F.M. 1999. *Watershed scale sediment yield estimation from surface irrigated agriculture: Imperial Valley, California*. Department of Geography. The University of Utah.
- UCDavis. 2001. *University of California, Davis, Chemical Laboratory Safety Manual* <http://ehs.ucdavis.edu>.
- Wallender W. W., D. W. Grimes, D. W. Henderson, and L. K. Stromberg. 1979. Estimating the contribution of a perched water table to seasonal evapotranspiration of cotton. *Agron J.* 71:1060.
- Zimmerman R. P. 1981. *Soil survey of Imperial County, California, Imperial Valley Area*. U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Holtville, California.



DR. ROBERTO NÚÑEZ ESCOBAR

El domingo 9 de junio falleció el Dr. Roberto Núñez Escobar, pilar del Colegio de Postgraduados. Se han escrito —y se escribirán— numerosos panegíricos sobre su vida y trayectoria. En este número de Agroproductividad hemos querido incluir esta foto histórica. Con motivo de la celebración en México del Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, en 1994, una parte del grupo organizador se entrevistó con el Profesor Carlos Hank González, a la sazón Secretario de Agricultura. De izquierda a derecha: Roberto Núñez Escobar, Said Infante Gil, Enrique Palacios Vélez, Carlos Hank González, Fernando González Villarreal, Andrés Aguilar Santelices, Gabriel Alcántar González y Jorge Tovar Salinas.





Las ciencias agrícolas mexicanas y sus protagonistas

Volumen 3
Casas, Infante, Jiménez y Martínez

La historia de esta serie de publicaciones, que pretende honrar a los iniciadores —y ahora continuadores— de la investigación en ciencias agrícolas en México se remonta a 1982, cuando el Dr. Leobardo Jiménez Sánchez —un visionario— empezó a entrevistar personas paradigmáticas en la investigación agrícola de nuestro país, publicando un volumen de entrevistas con ellos en 1984. Posteriormente Eduardo Casas Díaz y Gregorio Martínez Valdés recogieron unas cuantas entrevistas de aquel volumen y las complementaron con otras realizadas por ellos, todas las cuales se publicaron en la obra *Las Ciencias Agrícolas Mexicanas y sus Protagonistas*, ya en esta colección (BBA). Un segundo volumen, editado por Eduardo Casas, Said Infante y Gregorio Martínez, incorporó investigadores más jóvenes, pero también incluyó semblanzas de personas ya fallecidas.

Este tercer volumen reproduce tres entrevistas de la obra de Jiménez y añade otras 15 de investigadores/as todavía, felizmente, en activo.



Manzaneros chihuahuenses / Trayectoria y organización

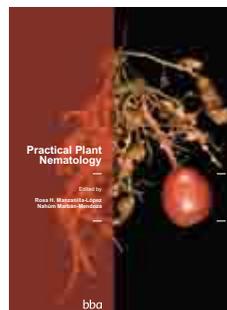
Rita C. Favret Tondato

La importancia de este libro está en identificar la producción de la manzana como una actividad dinámica en el territorio del oeste

del estado de Chihuahua, y la trayectoria de los empresarios frutícolas con sus organizaciones.

En el mismo, se relata la historia de esta zona manzanera, aunque el objetivo principal es explicar las acciones de los empresarios manzaneros y la consolidación de sus organizaciones para mejorar la calidad de la fruta y defender su venta en el mercado nacional, en la etapa de la apertura comercial, la globalización de la economía y la competencia con la fruta importada de Washington (Estados Unidos).

Con este estudio, se pretende lograr que las políticas públicas perfeccionen el enfoque territorial integrando las distintas redes productivas, con el propósito de apoyar la valoración espacial que realizan los actores locales, considerar la importancia histórica de los cultivos, las inversiones tecnológicas y en infraestructura, el arraigo cultural, el potencial de los actores sociales y sus organizaciones; tener políticas públicas comprometidas con una producción saludable, con cuidado del medio ambiente y que permitan mejorar la alimentación de los mexicanos.



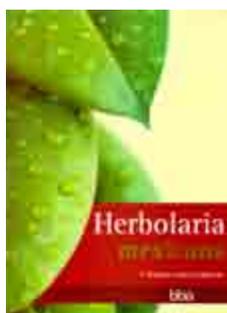
Practical plant nematology

Rosa H. Manzanilla y Nahúm Marbán

Plant-parasitic nematodes, often referred to as the 'hidden enemy', are responsible for major crop losses worldwide, both in commercial and subsistence agriculture. Unfortunately,

this cryptic nature contributes to the reduced attention paid to these pests – they may even be excluded from major crop protection and plant breeding programs. The purpose of this book is to provide an introduction to practical plant nematology and is aimed at degree level and postgraduate students of agronomy, biology, extension, phytosanitation, and at other professionals involved in crop protection activities and plant disease diagnostics.

The book has three main sections. The first six chapters cover the biology, morphology, taxonomy and practical aspects of symptomatology, sampling, preparation and identification of nematodes using both classical and molecular approaches. The second part of the book comprises ten chapters and deals with the taxonomy, diversity and bionomics of the most economically important plant-parasitic nematode groups. Thirdly, the final seven chapters deal with the ecological (*e.g.*, nematodes as bioindicators), biochemical and molecular processes involved in plant-nematode interactions, and with the chemical and non-chemical methods used to manage nematodes as part of an integrated pest management approach. Statutory measures dealing with quarantine issues and knowledge dissemination (farmer field schools and knowledge transfer) aspects are also included to demonstrate the need for a more holistic approach. Finally, a statistics chapter outlining the planning and analysis of experiments is provided, this being an area where many students frequently require advice and support.



Herbolaria mexicana

F. Alberto Jiménez Merino

El conocimiento y uso de las plantas medicinales para mantener o recuperar la salud es tan antiguo como la existencia del hombre. La herbolaria ha sido practicada por la mayoría de las civilizaciones; fue ampliamente difundida por griegos y romanos como Galeno e Hipócrates, cuya enseñanza médica rigió al mundo hasta la Edad Media.

Recientemente ha resurgido el interés por las plantas medicinales. Muchos de los medicamentos de la industria farmacéutica contienen derivados de ellas. Según la herbolaria china existe una planta para casi cualquier trastorno de la salud. Por otra parte, también debemos tomar en cuenta el carácter preventivo que tiene el consumo de las plantas para muchas enfermedades.

En esta obra se caracterizan 457 plantas y productos como una contribución al estudio de la herbolaria, destacando el papel que pueden jugar en la economía de las comunidades rurales, debido a la creciente industria de productos herbales farmacéuticos. Se previene también sobre la recolección excesiva de algunas especies, varias de ellas en peligro de extinción.



Novedad 2013

Gramíneas introducidas

Adrián R. Quero Carrillo

El debate sobre la conveniencia de introducir especies exóticas en un país cualquiera está vigente en todo el mundo. En México, la información sobre gramíneas forrajeras introducidas es muy escasa, aunque existen muchas especies establecidas en el país. Sobre el tema existen posiciones encontradas; ante el pastoreo devastador que se practica en grandes superficies del territorio nacional existen: dejar el suelo desnudo, o promover la adopción de especies introducidas; como gramíneas africanas u otras, para generar mayor cobertura vegetal y reducir la erosión física.

Para lograr una mayor producción de ganado en pastoreo extensivo es necesario estudiar los recursos genéticos representativos de la diversidad natural de especies cuyo origen genético está en África; para identificar en ellas factores de resistencia a sequía, digestibilidad, fijación de N, supervivencia, digestibilidad de tallos, etcétera.

Este libro trata de la ganadería que se practica en tierras de temporal, y en él se analizan diversos aspectos prácticos y teóricos relacionados con las gramíneas introducidas, resaltado la importancia de utilizar racionalmente los recursos genéticos forrajeros para evitar el deterioro de los ecosistemas de producción ganadera, con el fin de salvaguardar los recursos genéticos de las especies nativas.



Novedad 2013

Energía alterna y biocombustibles

Pérez Vázquez, García Pérez

Los biocombustibles son un tema sin duda polémico, con relevancia actual y futura. En esta obra se incluyen 19 contribuciones de diferentes autores, presentadas en el Congreso Internacional sobre Biocombustibles y Energías Alternas, que se realizó en el World Trade Center de la ciudad de Boca de Río, Ver., México, en octubre de 2011.

Aquí se presentan avances científicos importantes sobre fuentes de energía alterna y biocombustibles, por expertos de diversos países (Brasil, Alemania, Colombia, Argentina y México). Se incluye también investigación en temas como:

Experiencias exitosas; Energías alternas; Germoplasma y mejoramiento genético; Industrialización y comercialización; Manejo agronómico; Aspectos socioeconómicos y ambientales.

Los estudiosos de estos temas podrán documentar aquí sus inquietudes sobre estos tópicos, así como encontrar resultados tangibles, cuya aplicación puede contribuir a mitigar los efectos de la crisis energética mundial y a paliar los efectos del cambio climático, acentuado por la quema de combustibles fósiles.

Colecciones y Series

Serie: Deliberaciones



Novedad 2013

Ejercicios demográficos

y otras reflexiones (1946-1996)

El Ing. Emilio Alanís Patiño perteneció a la primera generación de agrónomos que, habiendo iniciado sus estudios en la vieja Escuela Nacional de Agricultura de San Jacinto, los concluyó en la exhacienda de Chapingo en 1928. Fue uno de los dos primeros estadísticos profesionales mexicanos, habiéndose graduado en Roma en 1932 como Magister, bajo la tutoría de Corrado Gini, una de las figuras icónicas de la estadística mundial en el siglo XX.

En el presente volumen se recogen 12 ensayos, principalmente sobre demografía, escritos por Don Emilio entre 1946 y 1996. La selección –espigada de su extensa obra escrita– la realizó él mismo poco antes de morir. La lectura de estos ensayos nos regala una visión del siglo XX mexicano desde el punto de vista de la evolución poblacional del país. No es un ejercicio de nostalgia: es una ventana al futuro.

Serie: Memoria recobrada



Novedad 2013

Perfiles, Ramón Fernández y Fernández

Luis E. Chalita Tovar

Don Ramón Fernández y Fernández fue miembro de la primera generación de agrónomos que inició sus estudios en San Jacinto y los concluyó en la exhacienda de Chapingo. Es, por tanto; con Emilio Alanís Patiño, Marte R. Gómez, Edmundo Flores, y una pléyade de muy distinguidos Chapingueros, un testigo de excepción de una época en que el país estaba por rehacerse desde las raíces. En esta biografía, escrita por Luis Eduardo Chalita, uno de sus alumnos predilectos, el lector podrá asomarse no solo a la vida de Chapingo en las décadas de los años treinta a los ochenta, sino a la del país entero. Entre algunos aspectos dignos de destacarse están la pintura de los frescos de Diego Rivera en la Capilla, la evolución, avances y fracasos de la Reforma Agraria en México y otros países de Sudamérica, y los cambios en la estructura agraria del país. Hoy, cuando más de 100 000 agrónomos compiten por puestos de trabajo muy escasos, sorprende las oportunidades que se ofrecían en aquella época a los egresados de la Escuela Nacional de Agricultura. Más que lamentarse por el paraíso perdido, habrá que reflexionar como intentar recuperarlo.

Serie: Memoria recobrada



Haré valla en la calle de victoria

Relatos de Goyo Martínez
Gregorio Martínez Valdés

El libro Haré Valla en la Calle de Victoria, Relatos de Goyo Martínez, tiene una larga historia. La parte de evocaciones —y

por supuesto invenciones— de la vida de un estudiante excepcional (Gregorio Martínez Valdés) de la Narro se publicó en una edición muy modesta en 1991. No es un anecdotario. El personaje principal será siempre la Narro, y el trasfondo será el eje Buenavista-Salttillo. Cada quién pondrá una cara y una voz a la protagonista saltillense, en particular a Estrella, que aparece aquí y allá, y cada quién pondrá una cara y una voz —y a veces nombres y apellidos—, a los actores incidentales. Será un juego divertido y levemente nostálgico. Sin embargo, los acontecimientos enmarcados en una época determinada (los años cincuenta) no serán exclusivos: habían ocurrido antes o habrán ocurrido después en Buenavista, pero quizás también en Chapingo o Ciudad Juárez.

Ahora se presenta una edición muy cuidada del libro original, adicionando diversos relatos del gran Goyo. Seguramente la disfrutaremos todos los agrónomos de México.

Serie: Memoria recobrada



Vivir entre dos siglos / La vida de un agrónomo

Emilio Alanís Patiño

Don Emilio Alanís Patiño fue un agrónomo emblemático de los mejores valores de la Escuela Nacional de Agricultura en el Siglo

XX. Miembro de la primera generación que terminó sus estudios en la ex-hacienda de Chapingo, habiéndolos iniciado en San Jacinto, Don Emilio fue un precursor en muchos sentidos. Por intermediación del Ing. Juan de Dios Bojórquez (otro agrónomo ilustre) fue, junto a Gilberto Loyo, uno de los dos primeros mexicanos en cursar un postgrado en disciplinas estadísticas; y nada menos que bajo la tutoría de Corrado Gini, seguramente el estadístico más influyente en la década de los años veinte del siglo pasado.

En sus más de 50 años subsecuentes de ejercicio profesional, Alanís Patiño marcó el crédito agrícola, la demografía, las estadísticas agrícolas y, en general, la vida intelectual del país. En esta autobiografía, publicada por primera vez en 1990, el autor establece un paralelismo entre su vida (de ahí el título “Vivir entre dos Siglos”) y el devenir del Siglo XX. Los lectores maduros encontrarán gratas remembranzas, y los jóvenes seguramente aprenderán algo de la historia, ya no tan reciente.

Serie: Deliberaciones



Orden, azar y causalidad

El lenguaje de la ciencia moderna
Said Infante Gil

En este ensayo se analiza el curso de tres ideas fundamentales en el desarrollo de la ciencia: el orden, la causalidad y el azar.

Partiendo del orden Aristotélico fundado en los cuatro elementos; y pasando por la Revolución Científica que culmina con Newton y el primer paradigma; se analiza la confluencia de la ciencia, el arte y la filosofía.

El relato nos lleva; por la ruta de la física, por los trabajos de Kepler, Ticho Brahe, Copérnico, Galileo, Newton, Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg... Por la ruta de la Biología, la atención se centra en los trabajos de Darwin, Mendel y Galton. Se analiza también el papel de la metodología estadística en el predominio actual de la idea de Modelo Probabilístico, enfatizando el papel de Karl Pearson y Ronald Fisher en este cambio de paradigma.

Colección



Métodos estadísticos

Un enfoque interdisciplinario
Said Infante Gil

La primera edición de la obra Métodos Estadísticos: un Enfoque Interdisciplinario, vio la luz en enero de 1984, agotándose su

primer tiraje (de 3,000 ejemplares) en menos de seis meses. Desde entonces se ha reimpresso regularmente, en promedio una vez por año, con tirajes de entre 1,000 y 1,500 ejemplares cada vez. Puede decirse que, dentro de la exigua tradición de la literatura científica en México, se ha convertido en un clásico en el que han abrevado ya 29 cohortes de estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado de México, Centro y Sudamérica, y del suroeste de los EE UU.

Esta tercera edición, ahora bajo el sello editorial del Colegio de Postgraduados, incluye varias novedades; entre ellas la posibilidad de usar el paquete R (de libre acceso) para trabajar los ejemplos en el texto y los ejercicios al final de cada capítulo. Seguramente este libro seguirá siendo una referencia adecuada para todo estudiante de ciencias experimentales y sociales.

Ofrece sus Maestrías en Ciencias y Doctorados en Ciencias, competentes a nivel internacional, reconocidos por el Padrón Nacional de Postgrado de Calidad del CONACYT



Colegio de Postgraduados

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
CAMPUS MONTECILLO

RECONOCIDOS POR EL PADRÓN
NACIONAL DE POSTGRADO DE
CALIDAD DEL CONACYT

Maestría y Doctorado en Botánica

La formación de Maestros(as) y Doctores(as) en Botánica se lleva a cabo mediante un programa de cursos y un trabajo de investigación. Los cursos tienen la finalidad de fortalecer y actualizar los conocimientos del estudiante en aquellas áreas de la ciencia requeridas en su formación académica. El trabajo de investigación permite a los candidatos(as) a Maestros(as) y Doctores(as) una vivencia directa con el método científico.

Botánica es el único postgrado en México con ésta especialidad y cuenta con planes de estudio flexibles que permiten interactuar con los demás programas del Colegio de Postgraduados, así como con otras instituciones del país y del extranjero.

La importancia de este postgrado radica en el hecho de que México es uno de los 11 países reconocidos como Megadiversos, por albergar una desproporcionada riqueza de flora y fauna, así como un acervo extraordinario de endemismos.

Objetivo

Formar Doctores(as) y Maestros(as) en Ciencias en Botánica, con nivel académico alto, dedicados(as) a la comprensión de las jerarquías biológicas, que permitan una gestión pertinente de los recursos naturales renovables relacionados con la producción alimentaria y los que produzcan otros bienes y servicios demandados para el desarrollo económico del país; así como, académicos(as) enfocados al entendimiento de los sistemas vegetales que propicie la utilización racional, manejo, conservación y recuperación de los recursos naturales.

Perfil del egresado

Los y las especialistas formados en el Programa de Botánica amplían sus oportunidades y conocimientos para enfrentar retos en el uso, manejo y conservación de la biodiversidad, que incluye especies silvestres y domesticadas, con importancia alimentaria, agronómica, farmacéutica, forestal, medicinal y forrajera, entre otras.

Líneas de investigación

- Fisiología y Bioquímica Vegetal y su relación con el ambiente
- Botánica Funcional
 - Biofísica
 - Bioquímica
 - Ecofisiología de Cultivos
 - Fisiología Vegetal
 - Fitoquímica
- Morfología y Anatomía Vegetal
- Botánica Estructural
 - Anatomía
 - Histoquímica
 - Morfología Vegetal
- Biosistemática, Ecología y Gestión de Recursos Naturales
- Botánica de Campo
 - Biología de malezas
 - Ecología
 - Etnobotánica
 - Sistemática

Ventaja competitiva

- 50 años de Excelencia Académica
- Planta docente con postgrados reconocidos
- Prestigio nacional e internacional
- Becas para estudiantes de origen nacional
- Centro de investigación con reconocimiento nacional e internacional

CORREO ELECTRÓNICO Y PÁGINA EN INTERNET

www.agropostgrados.mx
www.colpos.mx
botanica@colpos.mx

Colegio de Postgraduados

Carretera México-Texcoco, Km. 36.5
Montecillo, Estado de México, 56230
Tel. (55) 5804.5947
(595) 952.0247
(595) 952.0200 ext. 1276

Departamento de Servicios Académicos

Carretera México-Texcoco, Km. 36.5
Montecillo, Estado de México, 56230
Tel. (595) 952.0200 ext. 1516 y 1517
01 (55) 5804.5900 ext. 1516 y 1517

Ofrece sus Maestrías en Ciencias y Doctorados en Ciencias, competentes a nivel internacional, reconocidos por el Padrón Nacional de Postgrado de Calidad del CONACYT



Colegio de Postgraduados
Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
CAMPUS MONTECILLO



Orientación en Fisiología Vegetal

La Orientación en Fisiología Vegetal forma parte del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad. A la Orientación ingresan profesionistas que han completado su licenciatura o maestría. Los aspirantes al postgrado son seleccionados con base en el Reglamento de Actividades Académicas del CP y los demás requisitos exigidos por el Postgrado en recursos Genéticos y Productividad.

Actualmente, el postgrado cuenta con reconocimiento por el Padrón Nacional de Postgrados de Calidad del CONACYT, como Competente a Nivel Internacional para la Maestría en Ciencias y como Alto Nivel para el Doctorado en Ciencias.

La Orientación en Fisiología Vegetal enfatiza los estudios de los procesos fisiológicos que suceden durante el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales, en respuesta a las condiciones ambientales y al manejo agrícola, para determinar estrategias que permitan maximizar el aprovechamiento de los recursos ambientales disponibles, tanto para la producción de cultivos como para la mejora genética de su potencial productivo. Por lo que tiene como objetivo formar recursos humanos altamente capacitados y generar conocimientos básicos y tecnologías en esta área de estudio.

Objetivo

Formar y capacitar recursos humanos de alto nivel académico, en disciplinas afines a la producción pecuaria, como son los especialistas de diversas áreas: biólogos, ingenieros agrónomos zootecnistas, médicos veterinarios y carreras afines.

Perfil del egresado (a)

El egresado(a) esta preparado(a) para generar soluciones e innovaciones de acuerdo con la problemática de la producción agrícola, en un contexto de sustentabilidad ambiental; adquiere una actitud

de empatía social y de liderazgo que le permita ejercer y ocupar posiciones que demandan altos niveles de responsabilidad y capacidad técnica en los sectores público, privado y educativo; también, emprender y desarrollar empresas exitosas. Asimismo, está preparado para formar recursos humanos con capacidad analítica y científica, que contribuyan a resolver problemas y generar innovaciones tecnológicas.

Plan de estudios

Los y las estudiantes de maestría o doctorado aceptados en este postgrado entregarán su plan de estudios con base en su interés y perspectivas profesionales, bajo la supervisión de un Consejo Particular. El plan se integra con cursos reguales, seminarios, problemas especiales y un proyecto de investigación en cualquiera de las áreas de investigación del Programa.

Líneas de investigación

- Fisiología agropecuaria
- Producción Vegetal
- Biotecnología Vegetal
- Postcosecha de Granos y Oleaginosas
- Postcosecha Hortofrutícola

Ventaja competitiva

- 50 años de Excelencia Académica
- Planta docente con postgrados reconocidos
- Educación flexible y personalizada
- Becas para estudiantes de origen nacional
- Infraestructura pertinente y actualizada
- Centro de investigación con reconocimiento nacional e internacional

INFORMES

Departamento de Servicios Académicos
Carretera México-Texcoco, Km. 36.5
Montecillo, Estado de México, 56230
Tel. (595) 952.0200 ext. 1516 y 1517
01 (55) 5804.5900 ext. 1516 y 1517

CORREO ELECTRÓNICO Y PÁGINA EN INTERNET

www.agropostgrados.mx
www.colpos.mx
www.coordfis.mx

FECHAS DE INGRESO

Primavera y otoño
Fecha límite para presentación de solicitudes:
Septiembre y mayo, respectivamente

Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C.
Colegio de Postgraduados
PRG - Fruticultura
Convocan al:



XIV

10 al 13 de Septiembre
de 2013

Centro de Convenciones
Puebla, Pue.

Límite de recepción de trabajos
Resumen: 15 de Mayo 2013
Artículo en extenso: 15 de Abril 2013

Costos

	Inscripciones
General	\$3,200.00
Socios activos	\$2,700.00
Estudiantes de Posgrado	\$1,500.00
Estudiantes de Licenciatura	\$1,000.00
	Pre-inscripciones (hasta el 15 de Mayo 2013)
General	\$2,700.00
Socios activos	\$2,200.00
Estudiantes de Posgrado	\$1,300.00
Estudiantes de Licenciatura	\$800.00

Informes: www.somech.org.mx

**Congreso Nacional
de la Sociedad Mexicana
de Ciencias Hortícolas A.C. y 1er. Congreso
Internacional
conmemorando el
XXX Aniversario
de la SOMECH**

conferencias magistrales · recorridos de campo · exposiciones · simposia



iniqap



Driscoll's

