

## La contribución de las nanociencias y la nanotecnología

C. Hidalgo<sup>1,2\*</sup>, J. D. Etchevers<sup>1,2</sup>, R. Zanella<sup>3</sup>

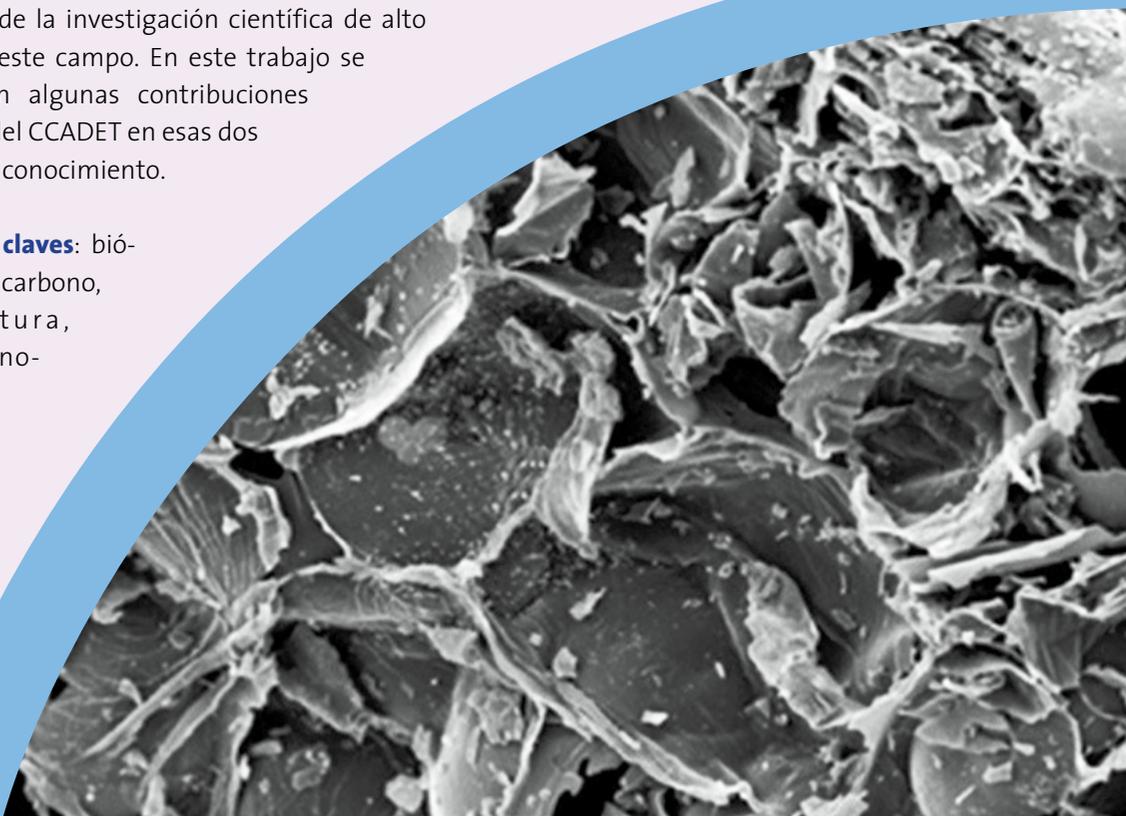
<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. <sup>2</sup>LPI-16 Innovación Tecnológica del Colegio de Postgraduados. <sup>3</sup>Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), Universidad Nacional Autónoma de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

Autor responsable: [hidalgo@colpos.mx](mailto:hidalgo@colpos.mx)

### RESUMEN

El presente artículo es una reflexión de la relación entre estos 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 trabajo se presentan algunas contribuciones del CP y del CCADET en esas dos áreas del conocimiento.

**Palabras claves:** bióxido de carbono, agricultura, nanotecnología.



## INTRODUCCIÓN

**Pocas son** las personas que 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>. 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 cómo se verá 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 CO<sub>2</sub>, 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), ha resultado ubicarse 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).

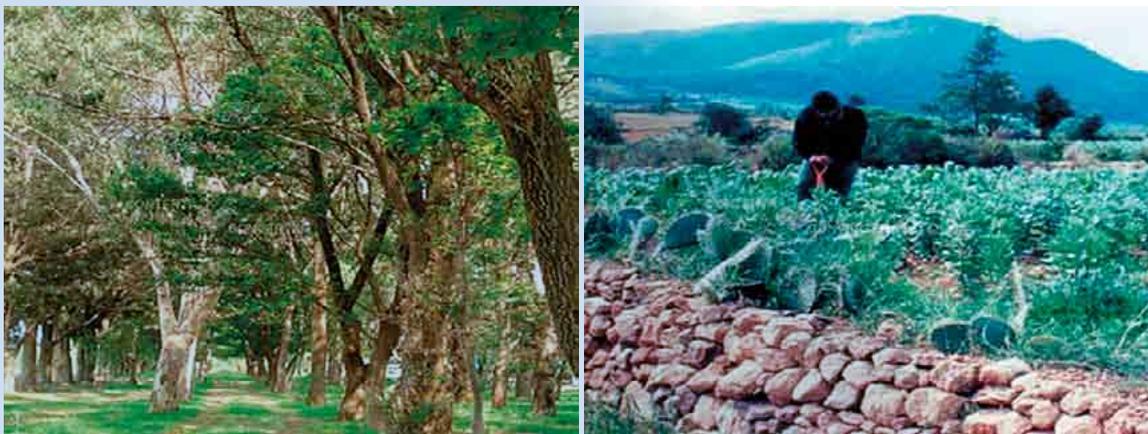


Figura 1. Ejemplos de cambio de uso de suelo.

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 al 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 CO<sub>2</sub> 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 (N<sub>2</sub>O).

En los sectores agrícola y forestal se han presentado opciones para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> (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 CO<sub>2</sub> 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 que se ha desarrollado 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 CO<sub>2</sub> 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,

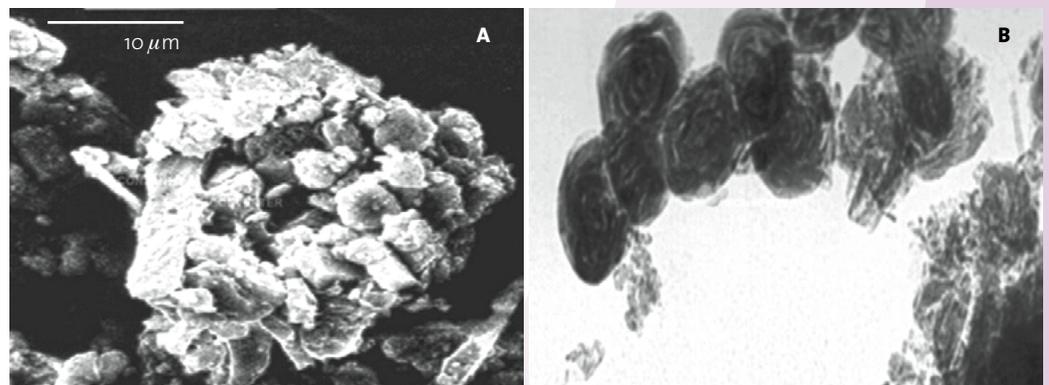


Figura 2. A: Agregado (Microscopía Electrónica de Barrido). B: Arcillas (Microscopía Electrónica de Transmisión) del suelo en donde suceden los procesos de captura de carbono.

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  $\mu\text{m}$ ) 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  $\text{Mg C ha}^{-1}$  en zonas con bosque de hasta 54 a 146  $\text{Mg C ha}^{-1}$  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  $\text{CO}_2$  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 un papel central en la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático (CEPAL, 2012).

Otras formas de capturar  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  del mar y fabricar su caparazón calcáreo (Gaurav y Šiller, 2013). Otro ejemplo es el papel que juegan 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. Es por ello que en la actualidad es muy limitado el desarrollo de nanotecnologías que impacten directamente la disminución de las contribuciones de  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  (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  $\text{CO}_2$  (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

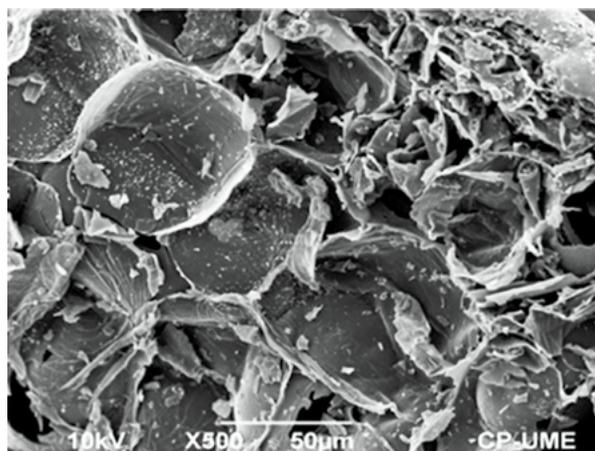


Figura 3. Microestructura del biochar (Microscopía Electrónica de Barrido, CP).



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 CO<sub>2</sub> 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 nanoparticles: 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 de vela 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 <sup>13</sup>C 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/TiO<sub>2</sub> 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.

