

Toxicidad de nanoaditivos aplicados a mezclas de combustibles

Mauricio A. Heras ¹, Adriana P. Herrera ², y Karina A. Ojeda ²

¹ Mauricio A. Heras, Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: mao723@hotmail.com

² Adriana P. Herrera, Doctora en Ingeniería Química. Docente Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: aherrerab2@unicartagena.edu.co

² Karina A. Ojeda, Doctora en Ingeniería Química. Docente Universidad de Cartagena, Colombia. Correo electrónico: kojedad@unicartagena.edu.co

RESUMEN

A nivel mundial una gran cantidad de gases son emitidos a la atmósfera por la combustión de diesel en motores por lo cual existe preocupación por los efectos causados en la salud humana y en los ecosistemas. Debido a esto se ha pensado en la nanotecnología como posible contribuyente a la reducción de emisiones de gases contaminantes. La posibilidad de utilizar nanoaditivos que permitan mejorar el proceso de combustión y reducir las emisiones, genera mucha expectativa tanto en el sector industrial como en el de salud y ambiente. Sin embargo, es necesario conocer los perjuicios que pueden ocasionar las nanopartículas luego de ser liberados al ambiente como producto de la combustión en motores. De esta forma, es importante analizar los beneficios del uso de nanoaditivos en comparación con las posibles amenazas y daños a la salud que pueden causar las nanopartículas en el ambiente.

PALABRAS CLAVE: Combustión, medio ambiente, nanopartículas, toxicidad.

ABSTRACT

Globally, a lot of gases are emitted to the atmosphere due to the combustion processes of diesel engines, from which a new concern are raised about human health and damages in the different ecosystems. Therefore, nanotechnology could be taken as a possible solution to reduce greenhouse emissions. The possibility of using nanoadditives to improve the combustion process and reduce emissions gasses generates great expectations in the industry sector and in the health and environment sector. However, more information is necessary to know about the possible damage that nanoparticles could cause in the environment after combustion of the nanoadditives. Thus, it is important to analyze the benefits of using nanoadditives as compared to their potential harm to the health which may cause the nanoparticles in the environment.

KEYWORDS: *Nanoparticles, toxicity, environment, combustion, engine*

1. INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas son estructuras cuyo tamaño va entre 1 y 100 nm, compuestas por diferentes elementos tales como polímeros, carbón, óxidos y metales, entre otros (Frejo et al. 2011). Estas pequeñas estructuras poseen una gran variedad de áreas de aplicación lo que ha impulsado su estudio e implementación en muchos sectores de la industria como el de energía, salud, agroindustrial, farmacéutico, entre otros, quienes han apostado por la nanotecnología como un método de innovación y mejora para sus procesos y productos (Murphy et al. 2011). En el sector energético la nanotecnología ha influenciado la creación de nanoaditivos para combustible, catalizadores para celdas de combustible y para reacciones de combustión y transesterificación en biocombustibles (Luther, 2008); en el sector de la salud se esperan grandes aportes por parte de la nanotecnología para el diagnóstico y la prevención de enfermedades, así como el tratamiento efectivo del cáncer (Mollins, 2008); la agroindustria por su parte ha incursionado en la creación de nanoplaguicidas capaces de localizar y eliminar directamente las plagas que dañan los cultivos (Lugo et al. 2010); y en cuanto a los fármacos, las nanopartículas actúan como vehículos de transporte para la liberación controlada de medicamentos (Aston et al. 2005).

Estos son sin duda importantes avances en sectores industriales de gran relevancia a nivel mundial. Sin embargo, la creciente inserción de la nanotecnología en los sectores de desarrollo industrial genera cierta inquietud y preocupación debido a la falta de conocimiento de los impactos y efectos nocivos que puede causar en el ambiente y la salud humana. Debido a esto, nació una disciplina destinada al estudio de esos efectos nocivos que pueden causar las nanopartículas: la nanotoxicología. Esta disciplina estudia cada uno de los posibles efectos que pueden generar nanopartículas, nanocompuestos y nanomateriales, durante su exposición en el medio ambiente (Sahu et al. 2009). Así, este artículo se enfoca en mostrar los beneficios y posibles efectos dañinos que pueden causar las nanopartículas presentes en los nanoaditivos en el ambiente y en la salud del ser humano, especialmente debido a su aplicación en el sector energético.

Pese a que la nanotecnología es una ciencia en crecimiento y es poco el conocimiento de los impactos que pueda generar su desarrollo, existen cuatro aspectos fundamentales para procesar nanomateriales y para evaluar su comportamiento en el ambiente: la composición química de las nanopartículas, su tamaño, su morfología y su actividad superficial (Oberdorster et al. 1992). La composición química de la nanopartícula permite conocer los efectos nocivos que estas pueden causar en la salud humana, en un cuerpo de agua o en el suelo. Puede ir desde elementos inofensivos hasta metales pesados capaces de contaminar un lago o asentarse en el suelo. El tamaño de partícula permite estimar el alcance y la movilidad de las nanopartículas. Mientras más pequeña sea la partícula más baja será su velocidad de asentamiento, lo que representa un incremento en su movilidad, potencial de transporte y capacidad de permanecer en el ambiente. En nuestro cuerpo, su pequeño tamaño puede permitir a las nanopartículas interactuar con organelos celulares (ADN, ARN, núcleo, etc.) (Sayes et al. 2007). La morfología de una partícula puede influenciar en su toxicidad. En un nanocompuesto con anatomía de núcleo y coraza, esta puede proteger al ambiente de su núcleo nanoparticulado o puede disociarlo dependiendo de cómo estén ligados el núcleo y la coraza. Por último, una nanopartícula con alta actividad superficial puede convertirse en una potencial amenaza, ya que son capaces de producir especies reactivas como por ejemplo, radicales hidroxilo. Esto incrementa, a nivel de salud humana, la probabilidad del daño oxidativo de las células (Adamson et al. 1997).

2. NANOADITIVOS

Los aditivos, para el caso de los combustibles, son compuestos diseñados para añadir diferentes características o aumentar el rendimiento del combustible y el motor. Las nanopartículas son capaces no solo de aumentar el rendimiento del combustible sino también reducir las emisiones generadas por el combustible fósil (Taufiqurrahmi et al. 2011). Estas son las razones más importantes por las cuales se han realizado diversos estudios sobre el uso de nanopartículas como nanoaditivos, entre los cuales se destaca el estudio realizado por Ganesh y Gowrishanka (2011), donde se reportó que las nanopartículas de óxido de cobalto y magnalium (magnesio-aluminio) son capaces de mejorar las condiciones de operación de combustibles como el diesel y biocombustibles como biodiesel. El efecto de estas nanopartículas en el combustible consistió en aprovechar la energía que estas poseen para liberarla al momento de la combustión, de esa manera, se redujo el consumo de combustible. Al mismo tiempo, las pequeñas explosiones que produjeron las nanopartículas en el interior del combustible, generaron la evaporación del mismo logrando una mejor relación combustible/aire y por ende una mejor combustión, logrando la reducción CO, CO₂, HC, y material particulado (Ganesh et al. 2011). En la india, Arul Mozhi Selvan y colaboradores (2009) estudiaron los efectos producidos por la adición de nanopartículas de óxido de cerio en mezclas con combustible fósil diesel. Los resultados mostraron que la energía de activación del óxido de cerio quema los depósitos de carbono dentro del motor garantizando un proceso más limpio para el ambiente y para el motor. Además se observó una reducción de aproximadamente 55% de las emisiones de HC al ambiente sugiriendo su uso como aditivo en mezclas de biodiesel-diesel (Arul Mozhi Selvan et al. 2009).

Existen estudios sobre nanotecnología en aditivos líquidos, como el realizado por Wulf y colaboradores (2008) en el cual estudiaron los beneficios que pueden generar las nanoemulsiones en el rendimiento de combustibles. En este estudio se mostró que las nanoemulsiones constituidas por combustible, agua y un agente tenso activo pueden ser termodinámicamente estables y pueden reducir las emisiones de NO_x y material particulado al ambiente (Wulf et al. 2008)

Estos y muchos otros estudios muestran el gran potencial de la nanotecnología en la evolución de los aditivos para combustibles y el sector energético. Los aditivos son bastante utilizados en automotores por lo que sus emisiones o desechos tienen contacto directamente con el ambiente; esta es la principal preocupación al momento de incluir los nanoaditivos al mercado sin conocer aún las implicaciones ambientales y de salud a las que conllevan las nanopartículas dispersas en el ambiente. El pequeño tamaño de las nanopartículas, su composición y su gran capacidad de dispersión pueden convertirlas en problemas futuros para la sociedad.

3. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS NANOADITIVOS

Son varios los tipos de nanopartículas capaces de mejorar el rendimiento de los combustibles y por esta razón es mayor la preocupación acerca de cuáles pueden o no ser peligrosas para la salud. Entre estas diversas clases de nanopartículas se pueden destacar las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂), óxido de alúmina (Al₂O₃), óxidos de hierro (Fe₂O₃ y Fe₃O₄), óxido de cerio (CeO₂), óxido de magnesio (MgO) y óxido de zirconio (ZrO₂), los cuales son importantes nanocompuestos a nivel comercial por la cantidad de aplicaciones que pueden tener y algunos de ellos son utilizados como nanoaditivos (Klabunde et al. 1996; Sahu et al. 2009).

Teniendo en cuenta que los nanoaditivos tendrán contacto con el ambiente una vez se haya realizado el proceso de combustión en el motor, es bueno tener en cuenta de que maneras pueden afectar la salud humana debido a la exposición. Las nanopartículas pueden viajar a través del cuerpo

humano por vías como la respiratoria por ejemplo al estar expuesto a la inhalación de nanopartículas desprendidas por la combustión de un motor o incendio; vía tracto gastrointestinal, debido a las nanopartículas que quedarían atrapadas en la mucosa al respirar o a través de agua contaminada; y vía cutánea, ya que las nanopartículas estarían dispersas en el ambiente (Oberdorster et al. 2005a; Yamago et al. 1995).

La mayoría de las nanopartículas presentan las mismas desventajas ambientales teniendo en cuenta que los principales problemas son generados por su pequeño tamaño y su capacidad de difusión en el ambiente, aunque también influye su composición y su morfología (Ashby et al. 2009). Debido al desarrollo de la nanotoxicología se han identificado varios aspectos necesarios a la hora de implementar procesos de producción de nanopartículas tales como (Reyes et al. 2009):

- Caracterización fisicoquímica de las nanopartículas incluyendo tamaño de partícula, forma, área superficial, distribución, actividad catalítica y potencial redox, entre otras.
- Información acerca de los posibles compuestos que pueden arrastrar las nanopartículas por su afinidad a ellas.
- Información que relacione la forma y tamaño de las nanopartículas y su capacidad de pasar a través de las células. Además de los posibles daños que pueden generar la composición de la nanopartículas en el interior de las mismas.
- Información sobre la toxicidad de las nanopartículas al aglomerarse en un sistema.
- Información acerca de la reactividad y la capacidad de interacción superficial con otras partículas.
- Por su pequeño tamaño y sus propiedades únicas las nanopartículas pueden interactuar con estructuras importantes como el ADN, por lo que es necesario conocer el tipo de interacción y los efectos que esto provoca.

La información anterior es importante tenerla en cuenta para el desarrollo de nuevos procesos que incluyan manipulación o producción en nanotecnología. Es indispensable prevenir los posibles efectos nocivos causados por la difusión de compuestos en escala nano que pueden perjudicar la salud humana.

4. IMPLICACIONES DE LAS NANOPARTÍCULAS EN LA SALUD

Luego de conocer algunas de las características propias de las nanopartículas, se han supuesto algunos perjuicios que posiblemente puedan ocasionar las nanopartículas en diferentes órganos del cuerpo. El Dr. Oberdorster y colaboradores (2005) han propuesto un esquema (figura 1) que presenta los medios por los cuales se puede tener contacto con las nanopartículas, las vías por donde pueden ingresar a nuestro cuerpo y los posibles órganos que pueden resultar afectados por este contacto (Oberdorster et al. 2005b)

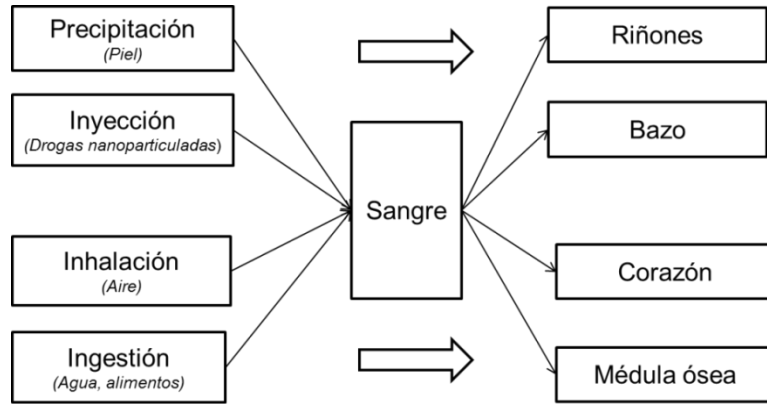


Fig 1. Vías de contacto y órganos del cuerpo humano que pueden ser afectados por contacto con nanomateriales. Adaptado de: *Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. Part Fibre Toxicol. 2005.*

Existen a la vez estudios que soportan la preocupación de muchos investigadores por las futuras consecuencias ambientales del gran auge de la nanotecnología en general, más aún, si la implementación de estas nuevas tecnologías causan un impacto negativo en la salud humana. El desarrollo de nanoaditivos para combustible nos deja expuestos a todas las consecuencias de la interacción de las nanopartículas con nuestro cuerpo. Presentamos ahora algunos de los estudios que soportan la posibilidad de que las nanopartículas pueden causar daños en la salud humana (Tabla 1).

Tabla 1. Estudios realizados sobre las posibles implicaciones de las nanopartículas en la salud humana.

Referencias	Investigación
(Muller et al. 2005)	Los nanotubos de carbono son capaces de entrar por vía respiratoria y permanecer adheridas a los pulmones acumulándose por varios meses
(Cherukuri et al. 2006)	Las nanopartículas pueden pasar a través de varios órganos como los pulmones, el hígado y el bazo y atravesar la membrana plasmática
(Auffan et al. 2009)	Las nanopartículas de cerio son capaces de ocasionar problemas en el ADN y daños en cromosomas a razón de estrés oxidativo.
(Nalabotu et al. 2011)	Las nanopartículas de óxido de cerio utilizadas normalmente en aditivos para combustibles son capaces de viajar a través de los pulmones hasta el hígado, causando daños en él.
(Haase et al. 2011)	Las nanopartículas de plata pueden causar daños en macrófagos.

(Asare et al. 2012)	Las nanopartículas de plata son citotóxicas y citoestáticas y son potencialmente causantes de apoptosis y necrosis.
(Su et al.2012)	Las nanopartículas magnéticas son capaces de dañar el endotelio de la raíz aórtica humana.
(Bhattacharya et al. 2012)	Las nanopartículas de zeolita pueden generar genotoxicidad, estrés oxidativo y daños celulares.

Estos estudios nos dan una idea de las desventajas que puede traer la implementación de esta y otras nuevas tecnologías sin un previo estudio exhaustivo de los posibles efectos negativos que podría traer consigo el uso desmedido de la nanotecnología.

5. CONSIDERACIONES Y CONCLUSIONES

La diversidad de los diferentes estudios realizados hasta el momento sobre la toxicidad de las nanopartículas, no permiten tener un claros los riesgos a los que estamos expuestos, ya que muchos de ellos no pueden ser comparativos debido a los diferentes parámetros de evaluación. Si bien es cierto que la mayoría de los estudios realizados sobre nanotoxicidad han sido desarrollados en animales o en pruebas in vitro, es necesario ser precavido y tener en cuenta las desventajas que estos demuestran.

Los nanoaditivos, por ser utilizados en procesos de combustión, logran una mayor exposición al ambiente y a la salud humana aunque la baja concentración de nanopartículas presentes en el aditivo puede no representar un riesgo inmediato. En adición, algunas nanopartículas pueden aglomerarse durante su aplicación, cambiando sus propiedades y su toxicidad, lo que nos motiva a tener en cuenta sus propiedades y las de los compuestos que las forman. Por lo anterior, se hace necesario estudiar a fondo las características y propiedades de los nanoaditivos producidos, su desenvolvimiento en el ambiente, su capacidad de aglomeración y todas aquellas particularidades que puedan convertirse en una amenaza a la salud.

REFERENCIAS

Adamson A.W., Gast A.P.(1997). Physical chemistry of surfaces (6th Edition). Jhon Wiley & Sons, Inc.: Chichester.

Arul V., Anand R. B., Udayakumar M. Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a ci engine. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 4. 2009.

Asare N., Instanes C., Sandberg W., Refsnes M., Schwarze P., Kruszewski M., Brunborg G. Cytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles in testicular cells. Toxicology. 2012.

Ashby M., Ferreira P., Schodek D.(2009). *Nanomaterials, nanotechnologies and design* (1st Edition). Butterworth Heinemann.

Aston R., Saffie-Siebert R., Canham L., Ogden J.. *Nanotechnology applications for drug delivery*. Pharm. Tech. Eur. Vol. 17. 2005.

Auffan M., Rose J., Orsiere T., De Meo M., Thill A., Zeyons O., Proux O., Masion A., Chaurand P., Spalla O., Botta A., Wiesner M.R., Bottero J. CeO₂ nanoparticles induce DNA damage towards human dermal fibroblasts in vitro. *Nanotoxicology*. Vol. 3. 2009.

Bhattacharya K., Naha P., Naydenova I., Mintova S., Byrne H. Reactive oxygen species mediated DNA damage in human lung alveolar epithelial (A549) cells from exposure to non-cytotoxic MFI-type zeolite nanoparticles. *Toxicology Letters*. 2012

Cherukuri P., Gannon C.J., Leeuw T.K., Schmidt H.K., Smalley R.E., Curley S.A., Weisman R.B.. Mammalian pharmacokinetics of carbon nanotubes using intrinsic near- infrared fluorescence. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 2006.

Frejo M.T., Díaz M. J., Lobo M., García J., Capó M.. *Nanotoxicología ambiental: Retos actuales*. Medicina Balear. 2011.

Ganesh D., Gowrishankar G. Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine. *IEEEExplore*. 2011.

Haase A., Tentschert J., Jungnickel H., Graf P., Mantion A., Draude F., Plendl J., Goetz M. E., Galla s., ašić, A. Thuenemann A.F., Taubert A., Arlinghaus H. F., Luch A. Toxicity of silver nanoparticles in human macrophages: Uptake, intracellular distribution and cellular responses. *Journal of Physics*. 2011.

Klabunde K.J., Stark J., Koper O., Mohs C., Park D.G., Decker S., Jiang Y., Lagadic I., Zhang D.J. Nanocrystals as stoichiometric reagents with unique surface chemistry. *J Phys Chem*. 1996.

Lugo E., García Gutiérrez C., Ruelas R.. *Nanotecnología y nanoencapsulación de plaguicidas*. Ra Ximhai. Vol. 6. 2010.

Luther W. Applications of nanotechnology in the energy sector. *Hessen-Nanotech*. Vol. 9. Ago. 2008.

Mollins R. Oportunidades y amenazas de la nanotecnología para la salud, los alimentos, la agricultura y el ambiente. *Comuniica*. 2008.

Muller J., Huaux F., Moreau N., Misson P., Heilier J.F., Delos M., Arras M., Fonseca A., Nagy J.B., Lison D.. Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 2005.

Murphy P., Munshi D., Kurian P.A., Lakhtakia A., Bartlett R.V. *Nanotechnology, society and environment*. *Comprehensive Nanoscience and Technology*. 2011.

Nalabotu S.K., Kolli M.B., Triest W.E., Ma J.Y., Manne N.D.P.K., Katta A., Addagarla H.S., Rice K.M., Blough E.R. Intracheal instillation of cerium oxide nanoparticles induces hepatic toxicity in male Sprague-Dawley rats. *International Journal of Nanomedicine*. Vol. 6. 2011.

Oberdorster G., Ferin J., Gelein R., Soderholm S.C., Finkelstein J.. Role of the alveolar macrophage in lung injury-studies with ultrafine particles. *Environ health Perspect*. 1992.

Oberdorster G., Oberdorster E., Oberdorster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect.* 2005a.

Oberdorster G., Maynard A., Donaldson K., Castranova V., Fitzpatrick J., Ausman K., Carter J., Karn B., Kreiling W., Lai D., Olin S., Monteiro- Riviere N., Warheit D., Yang H. Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Part Fibre Toxicol.* 2005b.

Reyes H., Najera H., Rojo-Dominguez A.. La nanotecnología y sus riesgos: El nacimiento de la nanotoxicología. 2009.

Sahu S., Casciano D.. Nanotoxicity from in vivo and in vitro models to health risks. Laurel, MD, USA. Wiley. 2009.

Sayes C.M., Reed K.L., Warheit D.B.. Assesing toxicicty of fine and nanopartículas: Comparing in vitro measurements to in vivo pulmonary toxicity profiles. 2007.

Su L., Han L., Ge F., Zhang S., Zhang Y., Zhao B., Zhao J., Miao J. The effect of novel magnetic nanoparticles on vascular endothelial cell function in vitro and in vivo. *Journal of Hazardous Materials.* 2012.

Taufiqurrahmi N., Mohamed A., Bhatia S. Production of biofuel from waste cooking palm oil using nanocrystalline zeolite as catalyst: Process optimization studies. *Bioresource Technology.* 2011

Wulff P., Bemert L., Engelskirchen S., Strey R.. Waterbiofuel microemulsions. Institute for Physical Chemistry, University of Cologne. 2008.

Yamago S., Tokuyama H., Nakamura E., Kikuchi K., Kananishi S., Sueki K., Nakahara H., Enomoto S., Ambe F. In vivo biological behavior of a watermiscible fullerene: ¹⁴C labeling, absorption, distribution, excetion and acute toxicity. *Chem Biol.* 1995.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (COLCIENCIAS) y a la Universidad de Cartagena por su apoyo en la realización de esta investigación.