

¿Qué hacen los nanomateriales en los recubrimientos, pinturas y tintas?

Gabriela **Navarro-Tovar**
Víctor Manuel **Martínez Pruneda**
María del Carmen **González Castillo**

Los nanomateriales, las nanociencias y nanotecnología han ganado popularidad en la sociedad debido al impacto de los productos comerciales generados por la comunidad científica y la industria de los nanomateriales. De acuerdo con la Real Academia Española, el prefijo “nano” proviene del latín *nanus*, que significa enano, y se refiere a la milmillonésima parte de la unidad de medida, por ejemplo 1 nanómetro (nm) es 1×10^{-9} metros. En una comparación con objetos de mayor tamaño, una nanopartícula de 1 nm de diámetro es mil veces más pequeña que una bacteria o diez mil veces más pequeña que el diámetro de un cabello. La nanotecnología se encarga del diseño y alteración de nanomateriales con aplicaciones industriales, médicas y ambientales; mientras que las nanociencias, se dedican a la evaluación de dichos nanomateriales para la aplicación puntual a la cual se dirigen (Luby y colaboradores, 2015). Es interesante mencionar que la nanotecnología tiene antecedentes que se remontan a varios siglos. Un ejemplo es el recubrimiento que tiene la Copa de Licurgo, hecha en Roma en el siglo IV (A.C.), y cuya composición química incluye cristales submicroscópicos de sales metálicas a los que se suman nanopartículas de oro y plata que contribuyen a los cambios de color en la copa, de rojo a verde (Freestone

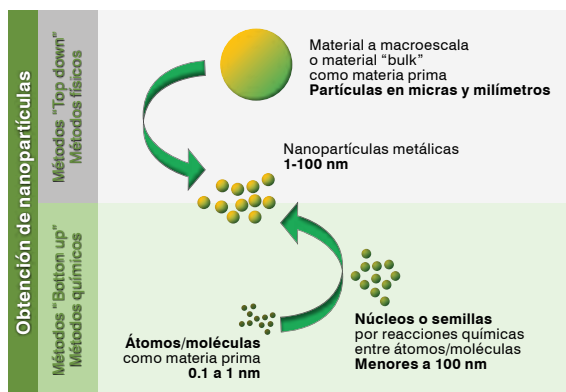


Figura 1. Esquema general de la formación de nanopartículas de naturaleza metálica por dos diferentes rutas: “Top down” y “Bottom up”.

y cols., 2007). Los nanomateriales inician su auge en 1959, cuando Richard Feynman, conocido como el padre conceptual de la nanotecnología moderna, plantea los primeros conceptos; y fue en 1974 que el ingeniero japonés Norio Taniguchi acuñó el término nanotecnología (Luby y cols, 2015). Desde entonces se han desarrollado innumerables aplicaciones en diferentes campos del conocimiento incluyendo, por supuesto, el control de corrosión y la protección de superficies mediante pinturas, recubrimientos y tintas con propiedades especiales.

Pero, ¿qué hace que un material en escala nanométrica sea tan distintivo? Cuando se manipulan materiales para obtener estructuras a nanoescala se alteran sus propiedades físicas y químicas, por ejemplo: 1) se aumenta su área superficial, lo que permite incorporar sobre ella mayor cantidad de moléculas de interés; 2) se modifican sus propiedades ópticas, eléctricas o magnéticas, y de esta manera es posible generar dispositivos de detección de sustancias y circuitos electrónicos, entre otros. Estas modificaciones tienen aplicaciones tan vastas que es posible utilizarlas en nuestra vida cotidiana, aunque no nos demos cuenta: medicamentos, ropa, desinfectantes y, por supuesto, los productos de la industria de pinturas.

Los nanomateriales sintéticos pueden obtenerse por medio de procesos “top down”, es decir, a partir de la fragmentación del material a gran escala; o

bien, por procesos “bottom up”, con la interacción de moléculas y átomos en solución, generando “semillas” o núcleos que finalmente darán paso a estructuras nanométricas entre 1 y 100 nm, aproximadamente (Figura 1). Para la síntesis de nanopartículas destinadas al uso de recubrimientos y tintas, regularmente se usan métodos “top down”, como la molienda de material a gran escala en un molino de perlas o bolas, pero también se pueden aplicar con deposición electroquímica (uso de corriente eléctrica para favorecer la formación de nanomateriales) que entra en procesos “bottom up”.

LA NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA MODERNA DE PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y TINTAS

Las pinturas son productos complejos compuestos por pigmentos, resinas (polímeros), solventes y aditivos, que sirven no solo para crear una imagen llamativa de alguna infraestructura; también crean cubiertas protectoras contra agentes externos, principalmente el aire, la humedad y el calor, que disminuyen el tiempo de vida útil de muebles, estructuras arquitectónicas y decorativas. Por otro lado, los recubrimientos industriales son productos altamente especializados que otorgan una capa de protección contra agentes físicos (cambios de temperatura y daño mecánico) y químicos (corrosión). Contienen polímeros que no permiten el paso de iones y evitan el contacto con el oxígeno y agua del ambiente; de esta manera, se utilizan en espacios expuestos a condiciones drásticas: transportes industriales, estructuras metálicas, tanques, cisternas, entre otras.

Otro producto en este sector son las tintas, que son semilíquidos con base acuosa o de solvente orgánico, con aplicaciones en escritura, impresiones, dibujo artístico, tatuajes, entre otras. Las primeras tintas fueron desarrolladas alrededor del año 2500 a.C., y contenían polvo de carbono suspendido en gomas naturales, albúmina de huevo y agua. Las tintas modernas contienen modificadores de pH, humectantes, resinas, compuestos que inhiben el crecimiento de microbios, modificadores de textura, entre otros.

CARACTERÍSTICA BUSCADA	PROPIEDADES QUE APORTAN LOS NANOMATERIALES	EJEMPLOS DE NANOMATERIALES
Biodegradabilidad	Reducen alergias y posible menor impacto ambiental	Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO ₂)
Funcionalidad dual	Formulación anti-olor, anti-grafiti, resistencia al polvo, aceites, suciedad	Nanopartículas de TiO ₂
Conducción de la electricidad	Generación de electricidad	Nanopartículas de plata o cobre, de TiO ₂
Absorción de radiaciones	Absorción de radiaciones, y emisión fluorescencia	Nanopartículas de óxido de hierro y nanopartículas de indio
Anticorrosión de metales	Mejoran las propiedades anticorrosivas	Nanopartículas de óxido de zinc
Durabilidad	Resistencia al desgaste y a la abrasión. Para desarrollo de pinturas ignífugas	Nanopartículas de óxido de sulfuro de zinc y de óxido de cobre
Prevención de plagas o bacterias	Efecto antimicrobiano y acaricida	Nanopartículas de plata y de óxido de cobre

Cuadro 1. Necesidades actuales de las pinturas comerciales y características que proporcionan diversos nanomateriales.

El uso de pinturas, recubrimientos y tintas está dividido en cuatro categorías: 1) recubrimiento de áreas para la construcción (inmuebles); 2) recubrimiento para productos industriales y de consumo (madera, plásticos, tela, papel); 3) recubrimientos para usos específicos (coches, maquinaria), y 4) tintas de impresión para diferentes procesos.

En 2017, el mercado mundial de pinturas y recubrimientos, generó ingresos de 152.6 billones de dólares. Dentro de las empresas de pinturas y recubrimientos más grandes se reconoce a Sherwin Williams (Estados Unidos) y Akzonobel (Países Bajos) (Garside, 2019).

En el área de tintas, destaca la compañía Hewlett-Packard que en 2018-2019 alcanzó ganancias netas de 58 billones de dólares (Holst, 2019). Y en México, la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPYT), indicó que, en 2018, este rubro generó 3.57 billones de dólares, con 12 mil empleos directos y un crecimiento total de 2.61 % (www.anafapyt.com).

La gran derrama económica que genera la industria de las pinturas, tintas y otros productos similares, sostiene investigaciones científicas dentro de las mismas compañías y, en algunos casos en conjunto con universidades e institutos científicos que buscan resolver las necesidades del mercado, como disminuir el impacto ambiental, eliminar contaminantes ambientales, evitar el crecimiento de microorganismos, conducir corriente eléctrica, así como otras funciones.

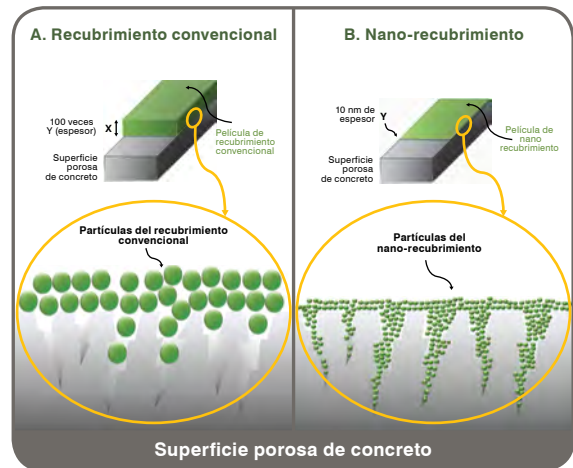


Figura 2. Diferencias entre un recubrimiento convencional (A) y un nano-recubrimiento (B). El grosor de un nano-recubrimiento (Y) es de 10 nm, frente al recubrimiento convencional (X) que es 100 veces más ancho. La impregnación sobre una superficie de concreto poroso muestra que las partículas de un recubrimiento convencional no pueden penetrar a los poros de menor diámetro, en tanto que las partículas del nano-recubrimiento tienen la capacidad de hacerlo.

Una de las alternativas para la producción de pinturas, recubrimientos y tintas, es el uso de nanomateriales, cuyas propiedades fisicoquímicas podrían mejorar significativamente la calidad y diseño de los productos al proporcionar estabilidad térmica y resistencia al daño mecánico y a la corrosión. En el Cuadro 1 se presentan algunas de las características deseables en pinturas y recubrimientos, así como los nanomateriales que podrían aplicarse.

NANO-RECUBRIMIENTOS

El término nano-recubrimiento abarca películas de nanomateriales para mejorar la durabilidad y características particulares; su objetivo es dejar una capa de recubrimiento imperceptible en la superficie a aplicar (10 nm, aproximadamente), para que el objeto no pierda su diseño exterior, como podría ocurrir con un recubrimiento convencional (Nasiol; <https://www.nasiol.com/>) (Figura 2). Los recubrimientos, tienen un amplio campo de aplicación, desde textiles para dar acabados antiarrugas o regular la temperatura de la ropa, proporcionar superficies antimicrobianas a dispositivos



© Enrique Soto. Josephinum, Museo de Medicina, Viena, 2008.

biomédicos, hasta acabados que prolongan la durabilidad de superficies metálicas de naves aeroespaciales y vehículos de transporte terrestre, muebles de madera o plástico, paredes y pisos de concreto, entre otros.

Por ejemplo, los impermeabilizantes Impershield contienen nanopartículas 600 veces más pequeñas que las partículas de un recubrimiento convencional, y pueden penetrar con mayor eficacia en las grietas del concreto a recubrir (Figura 2) (Impershield; www.impershield.com), logrando mayor impregnación y, por lo tanto, mayor durabilidad (aproximadamente 20 años). Los productos Nano Coating Technologies México (NCT; www.nctmexico.com.mx) han servido para recubrir monumentos históricos protegidos por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, manteniendo la porosidad de la piedra y evitando la generación de moho (NCT México). Mientras que los productos en aerosol de Nasiol contienen nanopartículas de óxidos metálicos y se aplican en el exterior de autos formando un nano-recubrimiento de 300 nm para proteger la pintura de los rayos UV, del calor y repeler el agua y el polvo (Nasiol; www.nasiol.com).

PINTURAS CON NANOPARTÍCULAS

Las pinturas comerciales tienen óxido de titanio con partículas del orden de 1 micra, es decir, aproximadamente 10 veces más grandes que una nanopartícula. El óxido de titanio se aprovecha por sus propiedades fotocatalíticas, es decir, que con ayuda de la luz UV del Sol desintegra materia orgánica (suciedad) y mantiene su aspecto original por más tiempo, además de poseer propiedades antimicrobianas. Algunas pinturas contienen nanopartículas de óxido de zinc u óxido de silicio, que igualmente tienen propiedades fotocatalíticas, antimicrobianas y proporcionan resistencia a la abrasión, como las pinturas que se utilizan para recubrir madera y otras superficies, y la pintura a base de silicona y nanopartículas de óxido de silicio, que brindan un acabado antipolvo, repelen la humedad y resisten la abrasión.

Existen otras nanopartículas que se investigan como potenciales agentes funcionales en pinturas, entre ellas, las de plata y las de óxido de cobre, cuyo uso podría aumentar la durabilidad de la pintura al proteger sus componentes de la degradación. Sin embargo, aún falta información del impacto de dichos nanomateriales a nivel ambiental y de salud, por lo que su uso a nivel comercial es de limitado a nulo.

TINTAS CON NANOPARTÍCULAS

De los retos a vencer en la deposición de tintas está el de lograr una alta adherencia a la superficie que usualmente repele el agua (por ejemplo, superficies plásticas), y conseguir la estabilidad térmica necesaria (78 a 120 °C) para resistir los procesos de diseño de dispositivos electrónicos. Los nanomateriales como el grafeno, las nanopartículas metálicas y los nanomateriales poliméricos, proporcionan estabilidad química y térmica, brindando nuevas funciones a las tintas, como la conductividad eléctrica. Se han desarrollado nanobarras de oro modificadas con un polímero que permite el transporte de electrones a través de toda la tinta por lo que, al depositar la tinta, se imprimen circuitos

electrónicos y, posiblemente, disminuyen el tiempo de fabricación de estos (Reiser y cols, 2016).

IMPACTO AMBIENTAL Y A LA SALUD DE LAS PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y TINTAS CON NANOMATERIALES

Hay resultados controversiales acerca de la inocuidad de los nanomateriales. El efecto de dichos materiales en un ecosistema depende de su composición, tamaño, reactividad y forma. Es el caso de las nanopartículas de óxido de aluminio, que provocan la disminución en las raíces de plantas lo que, a su vez, podría afectar a todo un ecosistema; sin embargo, las nanopartículas de óxido de titanio actúan de modo positivo en las plantas, mejorando su metabolismo (Sajid y cols 2014). Una evaluación de nanopartículas en pinturas determinó que no había efectos tóxicos en células sanguíneas y pulmones de ratones expuestos a pinturas con nanopartículas, pero sí había alteraciones en células y órganos cuando se exponía a los ratones a las nanopartículas libres de la matriz de pintura (Smulders y cols, 2014); es decir, el uso de pinturas con nanopartículas podría ser seguro, pero las nanopartículas libres podrían tener efectos adversos. Por otro lado, existen casos clínicos de trabajadores de las industrias nanotecnológicas que llaman la atención. Se ha reportado el caso de siete trabajadoras de una fábrica de pinturas en China, que se encontraban en un espacio de 70 m² sin ventilación y expuestas a nanopartículas de sílice y nanosilicatos. Las mujeres presentaron daños en la piel y, posteriormente, alteraciones respiratorias con derrame pleural (Song, 2009).

En la Universidad Autónoma de San Luis Potosí existen grupos de investigación dedicados al estudio de nanomateriales en diversos ámbitos. Particularmente, en el Laboratorio de Fisiología Celular (Facultad de Ciencias Químicas) y en el Laboratorio de Nanobiología (CICSaB), concentramos nuestros esfuerzos en el estudio de nanomateriales con aplicaciones biomédicas, sin dejar a un lado la evaluación toxicológica. El uso de modelos fisiológicos nos ha permitido estudiar diversos nanomateriales cuando está en contacto directo con

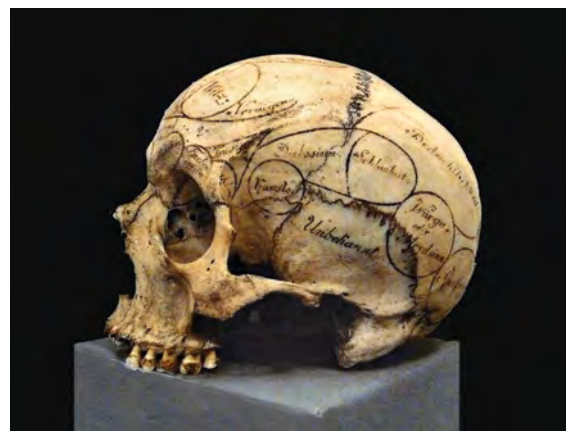


© Enrique Soto. Josephinum, Museo de Medicina, Viena, 2008.

un órgano aislado y contribuir a mostrar evidencias de su impacto en corazón, intestino y tráquea.

¿ES VIABLE EL USO DE LOS NANOMATERIALES EN PINTURAS, RECUBRIMIENTOS Y TINTAS?

Son evidentes dos aspectos: 1) que la nanotecnología ha impactado en el desarrollo de estos materiales ofreciendo al consumidor una solución a sus necesidades; y 2) que la presencia de nanomateriales puede ser más común de lo que creemos y, sin duda, tiene un alto impacto en la sociedad. Sin embargo, debemos considerar que las características de los nanomateriales, como el tamaño de la partícula, su naturaleza química, entre otras, influyen en su compatibilidad con los organismos, su biodegradabilidad, su acumulación y sus efectos tóxicos. A nivel mundial, los organismos académicos y científicos proponen continuar con las evaluaciones toxicológicas y trabajar conjuntamente con los gobiernos para lograr legislaciones en la producción, seguridad, uso, confinamiento y disposición de nanomateriales. Uno de los líderes en dicho contenido es la Unión Europea, que ha formado el Observatorio de la Unión Europea para Nanomateriales, que emite recomendaciones para la industria nanotecnológica en un estricto marco normativo de todas las sustancias químicas.



No obstante, hay aspectos legislativos sin concretar debido a que el comportamiento de los nanomateriales puede ser diferente al de partículas más grandes. La falta de soporte científico para validar su toxicidad o su seguridad mantiene a los científicos ocupados en validar su aplicación y seguridad en el corto y largo plazo.

Por lo tanto, reconociendo su gran valor comercial y científico, es importante que el usuario de los productos nanotecnológicos conozca el contenido de los mismos, y que esté informado de los potenciales riesgos que conllevan.

REFERENCIAS

Feestone I, Meeks N, Sax M and Higgitt C (2007). The Lycurgus Cup- A Roman Nanotechnology. *Gold Bulletin* 40:270-277.

Garside M (2019). Paint and Coating Industry-Statistics & Facts. Recuperado de: <https://www.statista.com/topics/4755/paint-and-coatings-industry/>.

Holst A (2019). Hewlett-Packard: printing segment net revenue 2008-2019. Recuperado de: <https://www.statista.com/statistics/274447/hewlett-packards-net-revenue-from-the-imaging-and-printing-group-since-2008/>.

Kunjappu J (2003). Ink chemistry. Recuperado de: <https://www.chemistryworld.com/news/ink-chemistry/3002158.article>.

Luby S, Lubyová M, Siffalovic P, Jergel M and Majkova E (2014). A Brief History of Nanoscience and Foresight in Nanotechnology En Bardosova M, Wagner T (Ed.), *Nanomaterials and nanoarchitectures: A Complex Review of Current Hot Topics and their Applications*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security (pp.63-86). Springer, Países Bajos.

Maldonado S y Anaya I (2019). Comunicado de Prensa de la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPYT), Recuperado de <https://www.anafapyt.com/noticias/post.php?noticia=comunicado>.

Marolt T, Škapin AS, Bernard J, Zivec P and Gaberscek M (2011). Photocatalytic activity of anatase-containing facade coatings. *Surface and Coatings Technology* 206:1355-1361.

Reiser B, González-García L, Kanelidis I, Maurer JH and Kraus T (2016). Gold nanorods with conjugated polymer ligands: sintering-free conductive inks for printed electronics. *Chemical Science* 7:4190-4196.

Sajid M, Ilyas M, Basheer C, Tariq Madiha, Daud M, Baig N and Shehzad F (2015). Impact of nanoparticles on human and environment: review of toxicity factors, exposure, control strategies, and future prospects. *Environmental Science and Pollution Research* 22:4122-4143.

Smulders S, Luyts K, Brabants G, Van Laudyuyt K, Kirschhock C, Smolders E, Golanski L, Vanoirbeek J and Hoet PHM (2014). Toxicity of nanoparticle embedded in paints compared with pristine nanoparticles in mice. *Toxicology Science* 141:132-140.

Song Y, Li X and Du X (2009). Exposure to nanoparticles is related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma. *European Respiratory Journal* 34:559-569.

Gabriela Navarro-Tovar
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
CONACyT, CDMX
gnavarro@conacyt.mx

Víctor Manuel Martínez Pruneda
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

María del Carmen González Castillo
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí