

# Nanomateriales: un desafío hecho realidad

Maribel Guzmán\*

Sección Ingeniería de Minas, Departamento de Ingeniería,  
Pontificia Universidad Católica del Perú.

## Resúmen

La búsqueda del hombre por elaborar nuevos materiales de acuerdo a las necesidades que se presentan día a día, a impulsado a muchos investigadores a desarrollar materiales más pequeños que puedan brindarle mejores e inclusive nuevas propiedades. Es por eso que en los últimos quince años la "nanotecnología" o "ciencia de elaboración de nanomateriales" a tenido un impulso considerable. Muchos son los tipos de nanomateriales elaborados y muchos más están por desarrollarse. Entre las aplicaciones de los nanomateriales podemos encontrar aplicaciones sencillas como la elaboración de pinturas a base de "nanopigmentos", hasta la elaboración de "nanofármacos" que penetran el cuerpo humano y viajan de manera más rápida y efectiva. Sería realmente imposible enumerar la gran cantidad de aplicaciones que los nanomateriales presentan en la actualidad, abarcando muchos campos de aplicación que van desde la electrónica hasta la medicina. Este artículo presenta de manera breve y sencilla las principales características y aplicaciones de nanomateriales, con la finalidad de introducir al lector en este nuevo e interesante campo de investigación aún en desarrollo.

**Palabras clave:** nanotecnología, nanocompuestos, nanomateriales, nanopartículas.

## Introducción

En los últimos años la investigación referente a los nanomateriales se ha incrementado fuertemente. Esto puede percibirse por el gran aumento de los artículos publicados, las conferencias y los congresos referente al tema realizados a

nivel mundial. La razón para tan impresionante desarrollo se debe a que existe un gran interés en desarrollar nuevos materiales y esto a llevado a los investigadores a buscar materiales fabricados a escalas más pequeñas<sup>1</sup>.

Investigaciones recientes han revelado que los nanomateriales poseen características ampliamente útiles y nuevas; son excepcionalmente fuertes, duros, dúctiles a altas temperaturas, resisten el desgaste, la erosión, la corrosión, y son químicamente muy activos.

La mayoría de sólidos cristalinos son un conjunto de muchos cristales pequeños o granos. El límite que separa dos pequeños granos o cristales que tiene diferentes orientaciones cristalográficas es el denominado límite de grano (frontera de grano). Tanto los materiales convencionales como los materiales nanoestructurados presentan granos y límites de grano. Para el caso de los materiales convencionales los granos representan el 99 % del volumen del material y los límites de grano sólo un 1%, por lo tanto sus diferentes propiedades estarán regidas en función de los granos. En cambio en los materiales nanoestructurados el límite de grano se convierte en un factor importante, ya que puede llegar a representar el 50% del volumen en un material y el 50% esta relacionado con los granos mismos<sup>2</sup>. Los granos en materiales convencionales varían de tamaño desde decenas de micrones ( $10^{-6}$  m) a algunos milímetros ( $10^{-3}$  m), en cambio los nanomateriales poseen granos del orden de los nanómetros ( $10^{-9}$  m). Por lo tanto sus propiedades dependerán tanto de la dimensión del grano como de los bordes o límites de granos<sup>3</sup>.

Un nanomaterial es aquel material que contenga sus granos (o alguna de sus dimensiones que lo caracteriza) en el orden de 1 a 100 nanómetros<sup>4</sup>. Cuando los materiales son estructurados a nanoescalas, sus propiedades (físicas, químicas<sup>5-8</sup>, magnéticas<sup>9-12</sup>, eléctricas<sup>13,14</sup> y ópticas<sup>15</sup>) cambian dramáticamente.

\* E-mail: mguzman@pucp.edu.pe

## Propiedades

Un parámetro muy importante que debe tomarse en consideración cuando hablamos de nanomateriales es la proporción en volumen de superficie/interface<sup>16</sup>. Un gran porcentaje de átomos superficiales introduce muchos fenómenos llamados "tamaño dependientes". El tamaño finito de la partícula confina la distribución espacial de los electrones de valencia, conduciéndolos a niveles de energía cuantizados<sup>17-19</sup>. Este confinamiento tiene una aplicación directa en el campo de los semiconductores y de la óptica.

Cuando los cristales de cualquier material es reducido de tamaño, sus características ópticas cambian. Primero hay cambio en el color percibido cuando el cristal se hace más pequeño que las longitudes de onda de la luz visible. Uno puede considerar este fenómeno debido a un efecto geométrico, debido a los cambios en la coherencia de la luz dispersada por la superficie material<sup>20</sup>.

Según *Mulvaney*<sup>21</sup> el oro metálico puede mostrar diferentes colores<sup>21</sup> como anaranjado, rojo, púrpura, o azul en función de las dimensiones de grano (desde de 1 nm hasta 500 nm). Esto puede observarse en la Figura 1. Los cambios oro de dorado a rojo son en gran parte geométricos que se pueden explicar con la teoría de *Mie*<sup>20</sup>, que describen la dispersión del haz de luz mediante una esfera. Los cambios subsiguientes

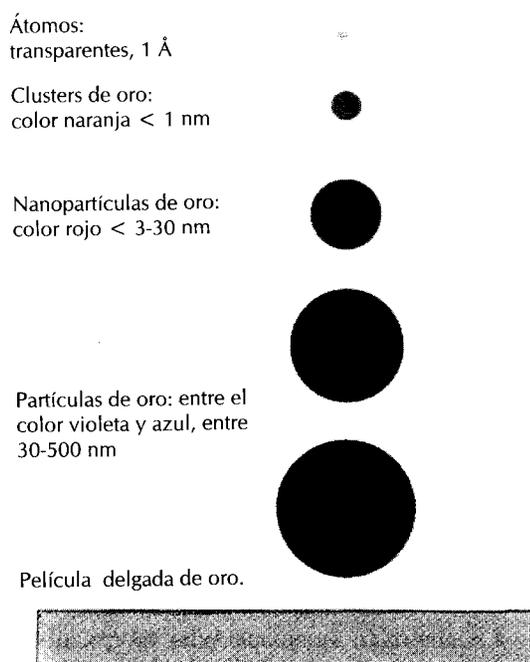


Figura 1.- Variación de color oro metálico en función de su dimensión.

de color de rojizos a naranja y a descolorido, son debido al efecto cuántico<sup>17-19</sup>.

Otra característica que presentan los nanomateriales, es que sus nanocristales poseen una estructura superficial única con gran actividad como consecuencia de la gran cantidad de átomos expuestos en su superficie. Al disminuir el tamaño de grano la cantidad de átomos en la superficie aumenta grandemente. Estos "átomos superficiales" son justamente los átomos que se requieren para promover reacciones químicas. Esta característica convierte a los nanomateriales en catalizadores potenciales<sup>22,23</sup>.

## Clasificación

Muchas clasificaciones de nanomateriales han sido propuestas en función de su dimensionalidad y del sistema que conforman. Según *Siegel*<sup>24</sup> los nanomateriales deben ser clasificados según la dimensionalidad de la fase o de las fases nanométricas que conforman un material (Figura 2). En pocas palabras los nanomateriales pueden presentar una dimensión 0, 1, 2 ó 3, según se trate de partículas dispersas, de barras o varillas, de capas planas o de nanogranos reunidos en un volumen determinado respectivamente.

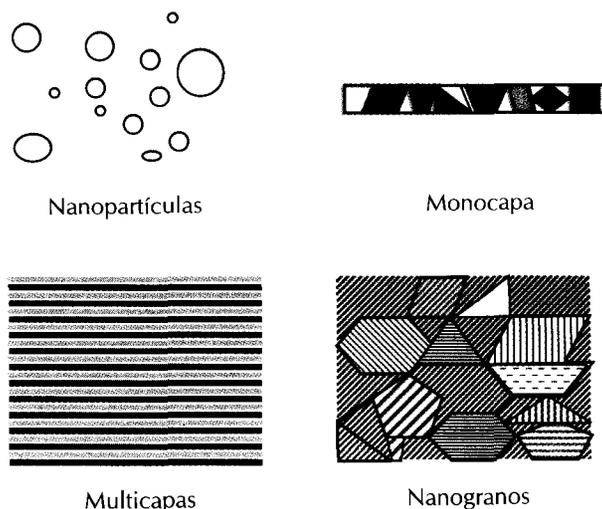
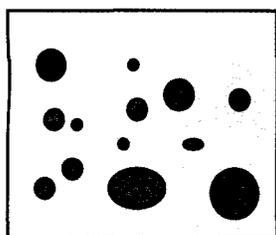
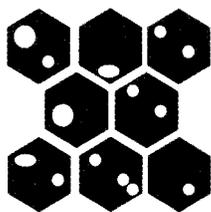


Figura 2.- Clasificación de los nanomateriales según Siegel<sup>24</sup>.

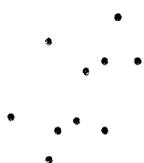
Según *Niihajara*<sup>25</sup> los nanomateriales deben ser clasificados según se trate de sistemas de una fase o de muchas fases (nanocompuestos). Esta clasificación es esquematizada en la siguiente figura.



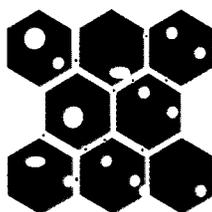
Matriz con precipitados nanométricos



Nanocompuesto Intragranular



Nanocompuesto Intergranular



Nanocompuesto Mixto

Figura 3.- Clasificación de los nanomateriales según Niihajara<sup>25</sup>.

Actualmente se acepta de manera general la clasificación de Siegel<sup>24</sup>, mientras que la de Niijhara<sup>25</sup> esta enfocada básicamente para el caso de los nanocompuestos.

## Aplicaciones de los Nanomateriales

Los nanomateriales tienen aplicaciones infinitas y prácticamente ningún área se verá ajena a ellos, especialmente la biotecnología, la industria electrónica y la farmacología. Enumerar las aplicaciones de los nanomateriales sería prácticamente imposible, por lo que sólo en este artículo se hará referencia a algunas aplicaciones importantes<sup>26-28</sup>.

### Aplicación en pinturas

En la industria de la pintura existe un fuerte interés por desarrollar pinturas comerciales<sup>29,30</sup> que presenten una alta resistencia a la abrasión. Es así que en los últimos años se han desarrollado pinturas con "nanopigmentos", típicamente sílices, los cuales se distribuye de manera mucho más homogénea en la capa de pintura que los pigmentos convencionales, produciendo una capa de interferencia altamente resistente al desgaste. En la industria de la pintura el uso de nanocristales o nanopartículas es útil dado algunas de sus propiedades como:

- Interactúan en forma predecible con la luz y otras radiaciones.
- Pueden tener gran estabilidad química.
- Mejorar propiedades mecánicas como dureza, resistencia a la abrasión

### Aplicación en medicina

Los nanomateriales se utilizan principalmente en la electrónica, en la fabricación de piezas con gran capacidad de almacenamiento de datos. Sin embargo, los científicos empiezan a encontrarle aplicaciones médicas que están próximas de convertirse en realidad. Actualmente en la Universidad de Illinois un grupo de investigadores están desarrollando a nivel laboratorio "nanonaves", formadas por Nanopartículas o Nanocápsulas, que viajarán a través del cuerpo para atacar principalmente problemas de cáncer<sup>31</sup>. El objetivo de estas nanopartículas es introducir un nuevo tipo de terapia. La cual consiste en penetrar las células individuales y repararlas; o, si hay mucho daño, deshacerse de ellas.

Las nanopartículas son una forma radicalmente nueva de biosensores y suministro de medicinas, y como tal, la tecnología necesitará aun de muchos años más para llegar a su madurez y ser confiable.

Estudios para detectar el cáncer ha llevado a muchos laboratorios de Estados Unidos ha experimentar con nuevos medicamentos para la detección temprana del cáncer, estos nuevos medicamentos elaborados a base de nanopartículas agilizan el diagnóstico de los pacientes<sup>32</sup>. Estas diminutas partículas brillan y actúan como marcadores sobre células y genes (Figura 4), con lo cual proporcionan a los investigadores la habilidad de analizar biopsias de forma rápida y segura.

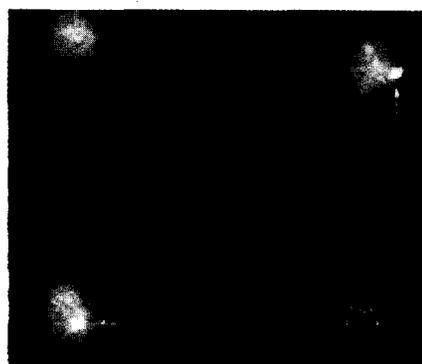


Figura 4.- Marcadores a base de nanopartículas en un tejido canceroso<sup>32</sup>.

En materiales dentales, el relleno se añade a los *compósitos* o *compómeros* para aumentar su resistencia. El relleno dental tradicional "*compósito moderno*" tiene un tamaño de 1 micra. Para los adhesivos actuales, las nanopartículas pueden ofrecer el mismo beneficio. Refuerzan el adhesivo con diminutas partículas, pero manteniendo las propiedades esenciales de adhesión de alto rendimiento. En contraste, el "nanorelleno dental" o "nano compómeros" es casi 100 veces más pequeño que el relleno tradicional. Este tamaño es tan pequeño que no puede verse. El nanorelleno tiene el tamaño perfecto para penetrar en los huecos de tamaño micrónico del esmalte, así como en los canales del diente más pequeños.

El tamaño medio de la partícula es de 7 nanómetros (1 nanómetro = la milésima parte de una micra). Una vez ahí, estas diminutas partículas constituyen una unión perfecta entre la estructura dental y el material restaurador comportándose de manera muy similar a los componentes originales.

*Prime & Bond NT*® es un "nanorelleno dental" de última generación fabricado a base de nanopartículas, por tanto, es casi transparente. Desde su introducción, la tecnología de *Prime & Bond NT*® ha obtenido resultados excelentes. Este producto ha mostrado una elevada tasa de retención, calidad, ausencia de caries recurrentes y propiedades de manejo excepcionales son algunas de sus características más reseñables<sup>33</sup>.

### Industria Cosmética

En la actualidad el uso de pigmentos al nivel de nanopartículas para obtener recubrimientos transparentes que logran filtrar las radiaciones UV e IR es una de las aplicaciones más comunes en la industria cosmética. Un ejemplo de ello son las cremas a base de nanopartículas de óxido de zinc (Figura 5), las cuales son mezcladas en cremas para la piel que protegen de las quemaduras de sol.

Las nanopartículas de zinc se depositan como un escudo invisible sobre la piel y reflejan la luz solar como si fueran pequeños espejos. Además, de poseer las propiedades de un filtro solar, las nanopartículas de ZnO son transparentes a simple vista<sup>34</sup> (Figura 6) lo que permite elaborar cremas solares traslúcidas con un factor elevado de protección.

Recientes investigaciones han encontrado un efecto aún mayor en las nanopartículas de óxido de titanio<sup>33,35,36</sup>. Estas

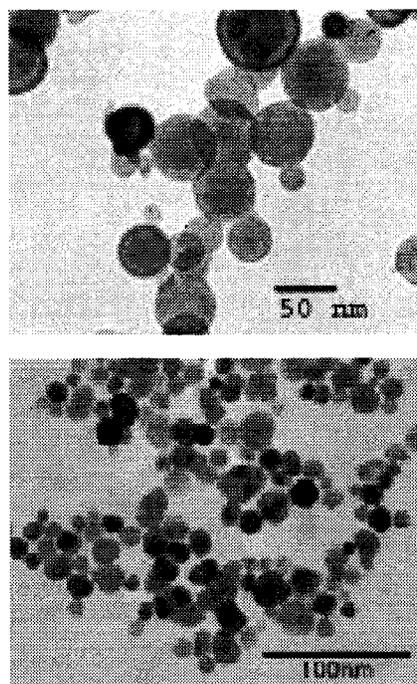


Figura 5.- Micrografías SEM de nanopartículas de ZnO obtenidas por síntesis mecano química<sup>34</sup>.

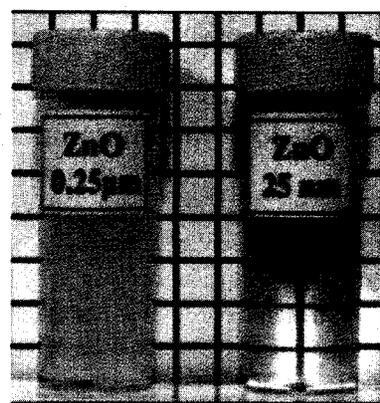


Figura 6.- Comparación entre micropartículas y nanopartículas de ZnO<sup>34</sup>.

nanopartículas muestran un efecto de atenuar los rayos UV que es el fin de todo filtro solar (Figura 7). De esta manera las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> actúan como un filtro de rayos ultravioleta obteniéndose una crema protectora con un elevado filtro solar.

Otra aplicación de los nanomateriales es la fabricación de cremas antiarrugas a base de nanosomas (Figura 8). Las nanosomas son liposomas más pequeños que los

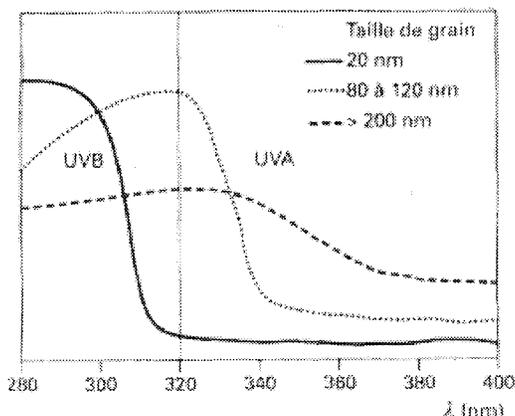


Figura 7.- Atenuación de la luz UV en función del diámetro de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ <sup>37</sup>.

convencionales que tienen la habilidad de entregar ingredientes solubles en grasa por ejemplo la vitamina A y E a niveles profundos de la piel<sup>37,38</sup>. Los nanosomas penetran la piel mucho más rápidamente y efectivamente que los liposomas, restaurando e hidratando la piel. Los nanosomas, desarrollados por L'Oréal<sup>37</sup>, son liposomas pequeños y uniformes, de menos de 1nm diámetro (Figura 9).

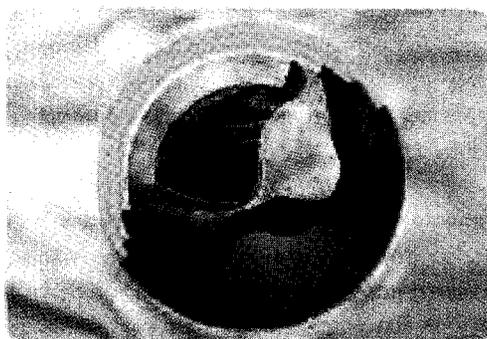


Figura 8.- Estructura de un nanosoma<sup>37</sup>.



Figura 9.- Nanosomas producidos por L'Oréal<sup>37</sup>.

## Aplicación en electrónica

La aplicación por excelencia de los nanomateriales se encuentra en el campo de la electrónica. Entre los aparatos que se desean fabricar comercialmente tenemos:

- **Sensores de la alta-sensibilidad y de alta-selectividad**

Los sensores emplean su sensibilidad a los cambios en varios parámetros que se diseñan para medir. Los parámetros medidos incluyen resistencia eléctrica, actividad química, permeabilidad magnética, conductividad termal, y capacitancia.

Todos estos parámetros dependen grandemente de la microestructura (tamaño de grano) de los materiales empleados en los sensores. Un cambio en el ambiente del sensor es manifestado por el producto químico del material del sensor, la comprobación, o las características mecánicas, que se explota para la detección.

Por ejemplo, un sensor del monóxido de carbono hecho del óxido del circonio utiliza su estabilidad química para detectar la presencia del monóxido de carbono. En la presencia del monóxido de carbono, los átomos de oxígeno del óxido del circonio reaccionan con el carbón del monóxido de carbono para reducir parcialmente el óxido del circonio. Esta reacción acciona un cambio en las características del sensor, tales como conductividad (o resistencia) y capacitancia. El índice y el grado de esta reacción son aumentados grandemente en una disminución del tamaño de grano. Por lo tanto, los sensores hechos los materiales nanocrystalinos son extremadamente sensibles al cambio en su ambiente<sup>39</sup>.

Los usos típicos para los sensores hechos a base de materiales nanocrystalinos son detectores de humos y detectores del hielo en las alas de avión.

- **Pantallas planas**

Los nuevos nanomateriales pueden tener un papel vital en la próxima generación de pantallas planas. Las pantallas serían más brillantes y tendrían un ángulo de visión mucho más amplio que las actuales. En el Laboratorio Oxonica<sup>®</sup> del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Oxford<sup>40</sup>, se han producido una gran variedad pantallas planas para computadoras portables, para televisores, para aviones, para teléfonos celulares y cámaras digitales.

## • Dispositivos magnéticos de alta potencia

La fuerza de un imán se mide en términos de los valores de la magnetización y de la saturación<sup>41,42</sup>. Estos valores aumentan con una disminución del tamaño de grano y un aumento en el área superficial específica (área superficial por el volumen de unidad de los granos) de los granos. Se ha demostrado que los imanes de iridio-samario-cobalto hechos de nanogranos poseen características magnéticas muy inusuales debido a su área superficial extremadamente grande.

Los usos típicos para estos imanes de tierras raras incluyen submarinos, los motores para las naves, los instrumentos analíticos ultra-sensibles, y la proyección de imagen de resonancia magnética (MRI) en diagnóstico médico<sup>32</sup>.

## En Biología

La actividad biológica de un principio activo depende de la interacción entre éste y el tejido u órgano. Sin embargo, para poder ejercer dicho efecto, el fármaco debe estar presente en su lugar de acción en suficiente cantidad, con la finalidad de provocar la respuesta deseada.

Dentro de los nuevos sistemas diseñados para el transporte específico destacan los sistemas coloidales a base de nanopartículas magnéticas<sup>43</sup>. Gracias a un campo magnético externo se podrá controlar y dirigir las nanopartículas al lugar del cuerpo deseado y mantenerlas allí por un determinado periodo de tiempo. Además, se podrá controlar la dosis exacta de fármaco deseado, reduciendo la cantidad innecesaria de fármaco que pueda generar algún tipo de reacción adversa. Al mismo tiempo, en el área de la biología se busca obtener bio-interfaces (p. ej. implantes, para administrar medicamentos, bio-chips, biosensores).

Se estudia la posibilidad de incorporar una nanopartícula a la pared de cualquier célula y seguir su evolución. Eso

podría permitir a los biólogos a saber cómo funcionan las células.

Cuando esta tecnología se lograrán obtener nanopartículas capaces de detectar células dañadas o cancerosas y llegar incluso a destruirlas. Las células marcadas se observarían mediante unos sensores especiales.

## Biomateriales más durables y biocompatibles

Actualmente, los implantes médicos, tales como implantes y válvulas ortopédicos del corazón, se hacen de aleaciones del titanio y del acero inoxidable. Estas aleaciones se utilizan sobre todo en seres humanos porque son bio-compatibles, es decir, no reaccionan con el tejido fino humano. Los implantes ortopédicos (huesos artificiales para la cadera, el etc.), estos materiales son relativamente no porosos. Para que un implante mímico trabaje eficazmente como un hueso humano natural, el tejido fino circundante debe penetrar el implante. Los implantes fabricados con nanomateriales (mímicos<sup>44</sup>) son porosos lo que permite un mejor contacto con el tejido humano, convirtiendo este implante en un "implante más real" que trabaja con mucha mayor eficiencia. En el caso de implantes convencionales los cuales son materiales relativamente impermeables, el tejido fino humano no penetra los implantes, de tal modo que el implante trabaja con una reducida eficacia. Además, estas aleaciones metálicas son a menudo muy costosas.

Actualmente se están fabricando implantes a base de nanocristales de óxido de zirconio. Estos nanocristales cerámicos son duros y resistentes a la corrosión de los líquidos biológicos que son corrosivos, son bio-compatible.

La elaboración y aplicación de los nanomateriales que hace unos años eran ideas casi de ciencia ficción, son ya una realidad, una realidad rentable y emergente. Pero queda mucho aún por investigar, aprender, entender y desarrollar.

## Referencias

1. Edelstein, A.S., Cammarata, R.C. *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*. Institute of Physics Publishing (2da edición): Bristol, 2001.
2. Ciencia y Tecnología. [www.ceramicaycristal.com.ar/P17/Ciencia.htm](http://www.ceramicaycristal.com.ar/P17/Ciencia.htm). Agosto 2003.
3. Costa, P. *Techniques de l'Ingénieur, Traité Matériaux Métalliques*. Université de Paris: Paris, 2001.
4. Siegel, R.W. *Nanostructured Materials* **1993**, 3,1.
5. Mayer, A.B.R., Mark, J.E., Hausner, S.H. *J. Appl. Polym. Sci.* **1998**, 70, 1209.

6. Lien, H.L., Zhang, W.X. *Colloids and Surfaces A*. **2001**, 191, 97.
7. Seregina, M.V., Bronstein, L.M., Platanova, O.A., Chernyshov D.M., Valetsky, P.M. *Chem. Mater.* **1997**, 9, 923.
8. Toshima, N., Takahashi, S., Hirai, H. *Chemistry Letters of the Chemical Society of Japan*. **1985**, 8, 1245.
9. Delplancke, J.L., Dille, J., Reisse, J., Long, G.L., Mohan, A., Grandjean, F. *Chem. Mater.* **2000**, 12, 946.
10. Guzmán, M., Delplancke, J.L., Long, G.L., Hubin-Franskin, M.J., Delwiche, J., Grandjean, F. *J. Appl. Phys.* **2002**, 92 (5), 2634.
11. Ita, B., Murugavel, P., Ponnambalam, V., Raju, A.R. *Proc. Indian Acad. Sci. Chem. Sci.* **2003**, 115 (5-6), 519.
12. Hadkipanayis, G.C., Prinz, G.A. *Science and Technology of Nanostructured Magnetic Materials*. Plenum Press: Nueva York, 1991.
13. Mazurczyk, R. *Chaos. Solitons & Fractals* **1999**, 10 (12), 1971.
14. Szmidi, J. *Chaos. Solitons & Fractals* **1999**, 10 (12), 2099.
15. Ichinose, N. *Superfine Particle Technology*. Springer-Verlag: Londres, 1992.
16. Gonsalves, K.E., Rangarajan S.P., Wang, J. *Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology. Volume 1: Synthesis and Preprocessing*. Editor Nalwa, H.S. Academic Press: Londres, 2000.
17. Templeton, A.C., Wuelfing, M.P., Murray, R.W. *Acc. Chem. Res.* **2000**, 33, 27.
18. Wang, Y., Herron, N. *J. Phys. Chem.* **1991**, 95,525.
19. Kuczynski, J.P. *J. Am. Chem. Soc.* **1986**, 108, 2513.
20. Shipway, A.N., Katz, E., Willner, I. *Chem. PhysChem* **2000**, 1,18.
21. Mulvaney, P. *MRS Bulletin* **2001**, 12, 1009.
22. Beck, D.D., Siegel, R.W. *J. Mater. Res.* **1992**, 7, 2840.
23. Boakye, E. *J. Colloid Interface Sci.* **1994**, 163,120.
24. Siegel, R.W. *Advanced Topics in Materials Science and Engineering*. Editores: Morán-López, J.L., Sánchez, J.M. Plenum Press: Nueva York, 1993.
25. Niihara, K. *The Certenial Memorial Issue* **1991**, 99, 974.
26. Xu, Q., Anderson, M.A. *J. Am. Ceram. Soc.* **1994**, 77, 1939.
27. Calafat, M.E. *Conferencia Magistral sobre Nanomateriales: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Madrid, 2001.
28. Wilson, M., Kannangara, K., Smith, G., Raguse, B. *Nanotechnology Basic Science and Emerging Technologies*. Chapman & Hall: Nueva York, 2002.
29. Laboratorios DEGUSSA. [www.degussa.com](http://www.degussa.com). Marzo 2004.
30. Nanophase Technologies. [www.nanophase.com](http://www.nanophase.com). Abril 2004.
31. The Institute of Nanotechnology. [www.nano.org.uk](http://www.nano.org.uk). Mayo 2004.
32. Ben-Ari, E. T. *Journal of the National Cancer Institute* **2003**, 95 (7), 502-504.
33. Advanced Powder Technology Pty. Ltd.. [www.apt-powders.com](http://www.apt-powders.com). Febrero 2004.
34. Zhang, Y,H., Chan, Ch.K., Porter, J.F., Guo, W. *J. Mater. Res.* **1998**, 13 (9), 2602.
35. Zhu, Y., Liu, T. Ding, Ch. *J. Mater. Res.* **1999**, 14 (2), 442
36. Laboratorios L'Oreal. [www.lorealusa.com/research/nanosomes.aspx](http://www.lorealusa.com/research/nanosomes.aspx). Setiembre 2003.
37. Brooks, G. & Idson, B. *Skin Lipids. International Journal of Cosmetic Science* **1991**, 13, 103-111.
38. Laboratorios Oxonica® [www.oxonica.com/content/intro.html](http://www.oxonica.com/content/intro.html). Setiembre 2003.
39. Laboratorios Nanomat. [www.nanomat.com](http://www.nanomat.com). Enero 2004.
40. Kittel, Ch. *Introducción a la Física del Estado Sólido*. Reverté: Barcelona: 1993.
41. Solymar, L., Walsh, D. *Electrical Properties of Materials*. Oxford University Press: Oxford, 1999.
42. Gallardo, V., Gómez-Lopera, S.A., Delgado, A.V., Arias, J.L. Proc. VI Congreso de la Sociedad Española de Farmacia Industrial y Galénica (SEFIG) 3ª Jornadas de Tecnología Farmacéutica (AEFI). Madrid, 2003.
43. Poole, Ch. P., Owens F.J. *Introduction to Nanotechnology*. John Wiley & Sons. Inc.: Nueva York, 2003.