

COBRE Y NANOTECNOLOGÍA COPPER AND NANOTECHNOLOGY

# NUEVOS PRODUCTOS MULTIFUNCIONALES

*New multifunctional products*

**POR PAULO FLORES, CARLOS MEDINA, VERÓNICA TORRES, MARITZA TORRES Y  
MANUEL MELÉNDREZ**

FOTOGRAFÍAS \_PHOTOS: PROPORCIONADAS POR EQUIPO INVESTIGADOR\_ SUPPLIED RESEARCH TEAM

EL DESARROLLO DE UNA MÁQUINA PARA LOGRAR UNA SÍNTESIS MASIVA DE NANOPOLVOS DE COBRE PERMITIRÁ LA PRODUCCIÓN DE NANOMATERIALES EN ESCALA INDUSTRIAL, AMPLIANDO EL ESPECTRO DE ACCIÓN Y EL MERCADO LOCAL PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE NANOESTRUCTURAS. UN EQUIPO DE INVESTIGADORES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN SE ENCUENTRA TRABAJANDO EN ESTE DESAFÍO.

*THE DEVELOPMENT OF A MACHINE TO ACHIEVE MASS SYNTHESIS OF NANOPOWDERS OF COPPER WILL ENABLE THE PRODUCTION OF NANOMATERIALS AT AN INDUSTRIAL SCALE, EXPANDING THE SPECTRUM OF ACTION OF THESE MATERIALS AND THE LOCAL MARKET FOR THE SALE OF NANOSTRUCTURES. A TEAM OF RESEARCHERS FROM THE FACULTY OF ENGINEERING AT THE UNIVERSITY OF CONCEPCIÓN IS WORKING ON THIS CHALLENGE.*

#### PAULO FLORES

Ingeniero civil mecánico de la Universidad de Concepción. Doctor en Ciencias Aplicadas de la Universidad de Liege, Bélgica. Profesor Asociado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción.

*Mechanical Civil Engineer from the University of Concepcion, Chile. Doctor in Applied Sciences from the University of Liege, Belgium. Associate Professor at the Faculty of Engineering of the University of Concepción.*

#### MANUEL MELÉNDREZ

Químico de la Universidad de Córdoba, Colombia. Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción. Postdoctorado en la Universidad de Texas en San Antonio. Profesor asistente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción.

*Chemist from the University of Cordoba, Colombia. Doctor in Chemical Sciences from the University of Concepcion Chile. Postdoctoral research at the University of Texas at San Antonio, USA. Assistant Professor of the Faculty of Engineering at the University of Concepción.*

#### CARLOS MEDINA

Ingeniero civil aeroespacial con grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Concepción.

Candidato a grado de doctor en Ciencias e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Concepción. Diseñador y fabricante del prototipo DARC-AC1.

*Civil aerospace Engineer with a Master's degree in Engineering Sciences with specialty in Mechanical Engineering from the University of Concepción. Candidate to a Doctor's degree in science and materials engineering at the University of Concepción. Designer and manufacturer of the DARC-AC1 prototype.*

---

El hombre siempre ha buscado la manera de manipular la materia a una menor escala, lo que podría traducirse en la construcción de máquinas especializadas pequeñas de manera eficiente y económica. Actualmente, este reto es difícil de alcanzar y vemos a nuestro alrededor que la naturaleza sí lo hace de una manera eficiente: organiza átomos y moléculas para formar proteínas, y proteínas para formar células, y células para formar seres vivos<sup>1</sup>. Todo esto nos hace pensar, ¿por qué queremos hacer todo cada vez más pequeño? ¿Solamente para aumentar la velocidad de los procesadores o de memoria de las computadoras?

Sin lugar a dudas es la extraordinaria reducción del tamaño de los objetos hasta la escala del nanómetro (1nm: mil millonésimas partes de un metro) lo que abre las posibilidades insospechadas, más allá de la informática. Posibilidades que involucran aplicaciones en muchos campos de la ciencia, que van desde medicina, dispositivos ópticos y electrónicos, agricultura, farmacia, hasta el arte entre muchas aplicaciones más<sup>2</sup>. En otras palabras podemos decir que estamos en los inicios de una nueva revolución científica que se encuentra en la frontera de la ciencia, una frontera llamativa para muchos debido a las recompensas intelectuales que se puedan lograr de los nuevos descubrimientos y aplicaciones basados en el estudio de la materia a una escala pequeña.

---

*Man has always sought ways of manipulating matter on a smaller scale, which could permit the construction of small specialty machines in a more efficient and economical manner. At present, this challenge is difficult to achieve even though we see all around us that nature does it in an efficient manner: it organizes atoms and molecules to form proteins, and proteins to form cells, and cells to form living beings<sup>1</sup>. All this makes us think about why we want to continuously reduce the size of everything? Is it only to increase the speed of the processor or computer memory?*

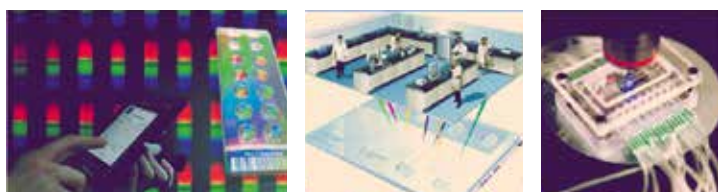
*Undoubtedly it is the extraordinary reduction in the size of the objects to the scale of the nanometer (1nm: a billionth of a meter) what opens the unsuspected possibilities, beyond computing. The opportunities involve applications in many fields of science, ranging from medicine, optical and electronic devices, agriculture, pharmacy and art, among many other applications<sup>2</sup>. In other words, we can say that we are in the beginnings of a new scientific revolution that is on the border of science. This border is attractive for many due to the intellectual rewards that can be achieved with the new discoveries and applications based on the study of matter on a small scale.*

*The rewards, especially in the frontier of knowledge, have an associated risk. We are seeking to manufacture new products with new applications forgetting, generally, the social and ethical risks that these discoveries may entail. What would we have*

<sup>1</sup>Ortega E., 2009.

<sup>2</sup>Schodek D., 2014.

**Figura 1** Dispositivo lab-on-chip (LONCH) basados en las aplicaciones de las propiedades nano a la detección de enfermedades.



Fuente: <http://www.omicrono.com/2013/06/espectrofotometria-para-analisis-bioquimicos-en-tu-smartphone>, consultado 7 de mayo de 2015.  
<http://lab-on-chip.gene-quantification.info>, consultado 7 de mayo de 2015.  
<https://news.uns.purdue.edu/x/2009a/090421WereleyChips.html>, consultado 7 de mayo de 2015.

Las recompensas, y más aún en la frontera del conocimiento, tienen un riesgo asociado. Buscamos la fabricación de nuevos productos con nuevas aplicaciones olvidando, generalmente, el riesgo social y ético que pueden tener dichos descubrimientos. ¿A qué le podemos temer entonces? Al desconocimiento utilizado por algunos para producir pánico tergiversando las bondades que tiene la materia a escala nanométrica. Quizás dicho desconocimiento se deba a que es común ver en películas de ciencia ficción la utilización de nanocosas (nanorobot) para uso bélico que acaban con la humanidad o algo por el estilo.

Uno de los desarrollos de la materia en la escala nanométrica, como para dar un ejemplo, son los prototipos denominados Lab-on-Chip “LONCH” (laboratorio en un chip) que más allá de querer acabar con la raza humana lo que pretenden es dar un paso gigante en la detección de enfermedades. Imaginemos que todo un laboratorio químico, con sus cubetas, cuentagotas, reactivos y mecheros cupieran en un diminuto circuito integrado del tamaño de una uña<sup>3,4</sup>. Permitiría realizar pruebas analíticas instantáneas en casa y en cualquier lugar para la detección de enfermedades.

Estos chips se conectarían a un teléfono inteligente para su procesamiento y análisis.

La novedad es que mediante materiales a escala nanométrica ha sido posible diseñar sensores para la detección de moléculas específicas (ver figura 1). Estos dispositivos permiten analizar trazas de algunos cuantos picogramos (billonésima parte de un gramo). El problema actual es que, aunque se puede sostener en la mano el sensor que analiza una gota de sangre o una partícula de carne, el equipo necesario para que llegue a correr una muestra fluidificada por los minúsculos conductos del microcircuito llena una mesa. Sin embargo, las nuevas propiedades de esta escala permiten la utilización de luz, electricidad o magnetismo para la detección óptima de moléculas.

*to fear then? The lack of knowledge used by “some” to produce panic and distort the good qualities that matter has at the nanoscale. Perhaps this ignorance is due to the fact that in science fiction movies it is common to see nanorobots used for military purposes that end with the human race.*

*One of the developments of matter on the nanometric scale, just to give an example, are the prototypes called Lab-on-Chips “LONCH” that instead of wanting to end with the human race, seek to give a giant step in the detection of diseases. Let us imagine that an entire chemical laboratory, with its cuvettes, pipette droppers, reagents and burners could be contained in a tiny integrated circuit of the size of a fingernail<sup>3,4</sup>. It would permit performing instant analytical tests at home or anywhere else to detect diseases. These chips could be attached to a smart phone for processing and analysis.*

*The novelty is that materials at the nanoscale have made it possible to design sensors for the detection of specific molecules (see figure 1). These devices allow analyzing traces of a few picograms (billionth of a gram). The current problem is that, although you can hold the sensor that analyzes a drop of blood or a particle of meat in the hand, the equipment necessary to get it to run a fluidized sample through the tiny ducts of the microcircuit fills a table. The new properties of this scale, however, allow using light, electricity or magnetism for the optimal detection of molecules.*

*Materials minuterized to the nanometer scale are known as nanomaterials. They have unique properties that are not comparable with those that the same materials have at larger scales. This is mainly due to the fact that at the nanometric scale the surface area to volume ratio increases, affecting many of the properties of the material<sup>5</sup>. In order to take advantage of this “surface-effect”, the use of nanoparticles is spreading to a variety of surface processes. For example, nanoparticles are designed for anticorrosion, non-slip, antimicrobial and super adherent treatments. However, not only the superficial properties change, so do their thermal, optical, electrical and magnetic properties, among others<sup>6</sup>.*

<sup>3</sup>Craighead H., 2006.

<sup>4</sup>Weigl B., Bardell R. L., Cabrera C. R., 2003.

Los materiales miniaturizados a la escala nanométrica se conocen como nanomateriales. Poseen propiedades únicas que no son comparables con las que presentan los mismos materiales a escalas de tamaño mayores. Esto se debe principalmente a que en la escala nanométrica la relación área superficial versus volumen aumenta, incidiendo en muchas de las propiedades del material<sup>5</sup>. Aprovechando este “efecto de superficie” el uso de nanopartículas se está extendiendo a una diversidad de procesos superficiales. Por ejemplo, nanopartículas diseñadas para tratamientos anticorrosivos, antideslizantes, antimicrobianos y superadherentes. Pero no solo las propiedades superficiales cambian, también lo hacen sus propiedades térmicas, ópticas, eléctricas y magnéticas, entre otras<sup>6</sup>.

Las propiedades de estos materiales también dependen de la forma y su tamaño. Por eso, a menudo se habla de nanotubos, nanoalambres, nanopartículas, nanopelículas y nanofibras. El abanico abarca muchas más formas como: estrellas, cubos, platos, flores, clavos, hilos, cintas, etcétera.

La nanotecnología es entonces el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia y la explotación de fenómenos y propiedades de esta a nano escala. Las nuevas propiedades que presentan estos materiales son una gran oportunidad para generar nuevos productos con aplicaciones novedosas, multifuncionales y la implementación de dispositivos inteligentes como los LONCHs, entre otros. Por lo anterior, no es de extrañar que la productividad científica y tecnológica en el área de los nanomateriales lleve un aumento exponencial en el estudio de la interrelación tamaño-material-morfología, así como de las formas de síntesis y sus aplicaciones<sup>7, 8</sup>.

Una de las aplicaciones de los nanomateriales se encuentra en el desarrollo de nanocompuestos. Estos se obtienen al incorporar nanomateriales en una matriz polimérica, cerámica o híbrida. Los nanocompuestos buscan mejorar una o más propiedades del material de base (matriz) sin perjudicar las otras, lo que se traduce en una multifuncionalidad. En general, se busca mejorar propiedades térmicas, eléctricas, resistencia mecánica, ópticas, químicas, acústicas, electromagnéticas, etc. En particular se ha logrado mejorar líquidos refrigerantes (nanorefrigerantes) y lubricantes (nanolubricantes<sup>9</sup>), se han desarrollado nuevos productos como las pinturas termocrómicas, superficies autolimpiables, superficies purificadoras de aire<sup>10</sup>, materiales aislantes térmicos (aerogel)<sup>11</sup>, escudos electromagnéticos<sup>12</sup>, sensores<sup>13</sup>, entre otros.

A pesar de los avances en el desarrollo de productos y aplicaciones, una de las barreras para el escalamiento de productos desde el laboratorio a lo comercial es la falta de disponibilidad de nanoestructuras a un valor competitivo y

*The properties of these materials also depend on the shape and their size. Therefore, we often hear about nanotubes, nanowires, nanoparticles, and nanofilms and nanofibers. The range covers many more shapes as: stars, bins, dishes, flowers, nails, thread, tape, and so on.*

*Thus, nanotechnology is the study, design, creation, synthesis, manipulation and application of materials, devices and functional systems through the control of matter and the exploitation of phenomena and properties of matter at a nanoscale. The new properties of these materials are a great opportunity to generate new products with novel, multifunctional applications and to implement smart devices like the LONCHs, among others. Consequently, it is not surprising that scientific and technological productivity in the area of nanomaterials shows an exponential increase in the study of the interrelationship between size-material-morphology, as well as the forms of synthesis and their applications<sup>7, 8</sup>.*

*One of the applications of nanomaterials is in the development of nanocomposites, which are obtained by incorporating nanomaterials in a matrix that may be polymeric, ceramic, or hybrid. Nanocomposites seek to improve one or more properties of the base material (matrix) without harming the others, resulting in multifunctionality. In general, the purpose is improving thermal, electrical, mechanical resistance, optical, chemical, acoustic, electromagnetic and other properties. In particular, coolants (nanocoolants) and lubricants (nanolubricants) have been improved<sup>9</sup>, and new products such as thermochromic paints, self-cleaning surfaces, air-purifying surfaces<sup>10</sup>, thermal insulating materials (aerogel)<sup>11</sup>, electromagnetic shields, and sensors<sup>12, 13</sup>, have developed, among others.*

La nanotecnología es entonces el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia y la explotación de fenómenos y propiedades de esta a nano escala.

*Thus, nanotechnology is the study, design, creation, synthesis, manipulation and application of materials, devices and functional systems through the control of matter and the exploitation of phenomena and properties of matter at a nanoscale.*

<sup>5</sup> Koo J.H., 2006.

<sup>6</sup> Ashby M., Ferreira P., Schodek D., 2009.

<sup>7</sup> Wu R., Zhou K., Yue C. Y., Wei J., Pan Y., 2015.

<sup>8</sup> Islam N., Miyazaki K., 2010.

<sup>9</sup> Martin J. M., Ohmae N., 2008.

<sup>10</sup> Hanus M., Harris A., 2013.

<sup>11</sup> Cuce E., Cuce P., Wood C., Riffat S., 2014.

<sup>12</sup> Al-Saleh M., 2015.

<sup>13</sup> Dubay K., Mondal R., Grover V., Bhardwaj Y., Tyagi A., 2015.

la confiabilidad en la adquisición de un producto de calidad repetible (es decir, rango de tamaños, de morfología y de pureza). Esto se debe a que la mayoría de las técnicas que se usan para la producción de nanoestructuras de uso comercial son discretas, lentas y su calidad final depende fuertemente de las condiciones de producción.

#### PROPUESTA DE FABRICACIÓN MASIVA DE NANOCOBRE

El procedimiento de síntesis por descarga de arco consiste en provocar la fusión de los bordes de unos alambres precursores mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico, en un ambiente controlado rico en un gas precursor. Al poner en contacto los polos opuestos de un generador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos se pone incandescente. Esto provoca la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto fundiendo el material, que luego al enfriarse y relajarse forma las nanoestructuras. El prototipo actual DARC-AC-01, desarrollado en la Universidad de Concepción (solicitud de patente nacional 2013-03340), tiene la versatilidad de trabajar con diferentes materiales

Una de las barreras para el escalamiento de productos desde el laboratorio a lo comercial es la falta de disponibilidad de nanoestructuras a un valor competitivo y la confiabilidad en la adquisición de un producto de calidad repetible.

precursores metálicos como zinc, aluminio y cobre, los cuales pueden dar como resultado nanomaterial metálico o su estado oxidado.

#### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Las nanopartículas sintetizadas por el NANODARC SYSTEM® poseen

la misma pureza del material precursor. Más de 90% de los nanomateriales sintetizados tienen un tamaño estructural inferior a los 100 nanómetros. En el caso del nanocobre se ha logrado un tamaño promedio de 51 nanómetros donde el 80% del material posee un tamaño entre 70 y los 10 nanómetros. En la producción no se utilizan precursores diferentes a alambre de cobre ultrapuro. Por tanto, los nanopulvos obtenidos mediante el equipo DARC no presentan subproductos u otra molécula precursora del crecimiento adsorbido sobre la superficie de la partícula. La atmósfera del sistema está controlada. Esta puede ser inerte u oxidante, por lo cual es posible obtener nanopulvos de CuO y Cu. El sistema de recolección se realiza en presencia de argón (en el caso de las nanopartículas de Cu metálico) para evitar la oxidación de las partículas por oxígeno del ambiente.

#### APLICACIONES COMERCIALES Y DESAFÍOS

Las nanopartículas de cobre obtenidas mediante el NANODARC SYSTEM® tienen potenciales aplicaciones como: agente antibiótico, anti-microbiano y anti-hongos cuando se añaden a los plásticos, revestimientos y textiles; en suplementos dietéticos de cobre; en metales de alta resistencia y aleaciones; como disipadores de calor y materiales conductores térmicos;

*In spite of the advances in the development of products and applications, one of the barriers for the scaling of products from the lab to the commercial scale is the lack of availability of nanostructures at a competitive commercial price and reliability in the acquisition of a replicable product quality (i.e., range of sizes, morphology and purity). This is due to the fact that the majority of the techniques that are used for the production of nanostructures for commercial use are discrete, slow and their final quality strongly depends on production conditions.*

#### PROPOSAL FOR MASS MANUFACTURE OF NANOCOPPER

*The procedure of synthesis by arc discharge consists of causing the fusion of the edges of a few precursor wires through intense heat developed by an electric arc in a controlled environment rich in a precursor gas. When putting the opposing poles of a generator into contact, an electric current of great intensity is generated. If the necessary intensity is supplied, the section of contact between the two poles becomes incandescent. This causes the ionization of the atmosphere that surrounds the area of contact melting the material, which when cooled and relaxed forms nanostructures. The current DARC-AC-01 prototype developed at the University*

*One of the barriers for the scaling of products from the lab to the commercial scale is the lack of availability of nanostructures at a competitive price and reliability in the acquisition of a replicable product quality.*

*of Concepción (national patent application 2013-03340), has the versatility to work with different metal precursor materials such as zinc, aluminum and copper, which may generate metallic nanomaterial or its oxidized state.*

#### PRODUCT FEATURES

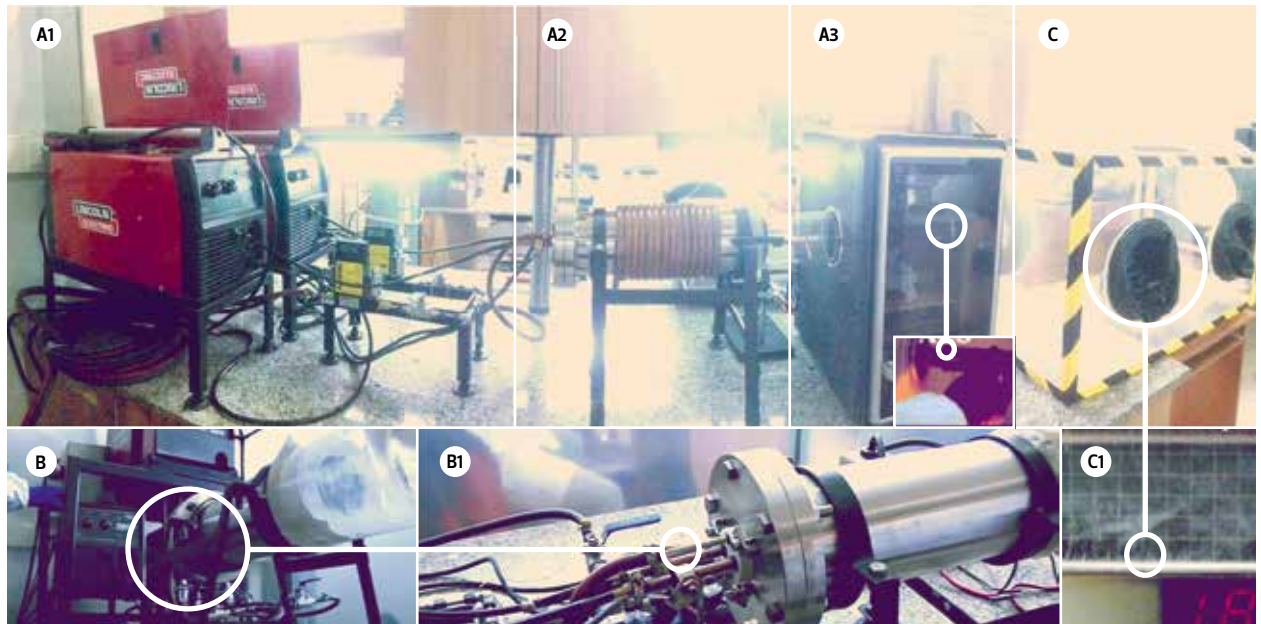
*The nanoparticles synthesized by the NANODARC SYSTEM® have the same purity of the precursor material. The structural size of more than 90% of nanomaterials synthesized is smaller than 100 nanometres. In the case of nanocopper, an average size of 51 nanometers has been achieved, where size of 80% of the material is between 70 and 10 nanometers. The precursors used in the production are not different from ultra-pure copper wire. Therefore, the nanopowders obtained by the DARC system do not have by-products or other precursor molecule of the growth adsorbed on the surface of the particle. The system's atmosphere is controlled. It may be inert or oxidising, therefore nanopowders of CuO and Cu can be obtained. The collection system works in the presence of argon (in the case of metallic Cu nanoparticles) to prevent rusting of the particles by the oxygen in the atmosphere.*

#### COMMERCIAL APPLICATIONS AND CHALLENGES

*The nanoparticles of copper obtained by the NANODARC SYSTEM® have potential applications: as antibiotic, anti-microbial and anti-fungal agent when added to plastics, coatings and textiles; in copper dietary supplements; in high-resistance metals and alloys; as heat sinks and thermal conductive materials; as effective catalyst for chemical reactions and for the synthesis of methanol and glycol; as sintering additives and materials of capacitors; in*

## Figura 2

Imágenes de las diferentes versiones del Nanodarc System®. El modelo DARC-AC1 permite la síntesis de nanopulvos de Zn, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El modelo DARC-AC2 se usa para la síntesis de nanopulvos de Cu y CuO. El modelo DARC-AC3 se utiliza para la separación y clasificación de nanopartículas con estrecha distribución de tamaño y forma. Esta configuración presenta un dispositivo ACS (acelerador de Carga Superficial) y un dispositivo TEP (tamiz eléctrico de partícula), utilizado en la separación. Todas las partes y piezas han sido diseñadas y construidas en el grupo GINA- Facultad de Ingeniería Universidad de Concepción.



**A1**  
Modelo DARC-AC1  
Z1 (Alimentación)

**A2**  
Modelo DARC-AC1  
Z2 (Descarga)

**A3**  
Modelo DARC-AC1  
ACS

**B**  
Modelo DARC-AC2

**B1**  
Sistema de Reacción  
y Descarga

**C1**  
Modelo DARC-AC3  
Z3 (Acumulación)  
-Dispositivo TEP

como catalizador eficaz para las reacciones químicas y para la síntesis de metanol y glicol; como aditivos de sinterización y materiales de condensadores; en tintas conductoras y pastas que contienen nanopartículas de cobre se pueden utilizar como un sustituto de los muy costosos metales nobles usados en la electrónica impresa, pantallas y aplicaciones de película delgada conductoras transmisoras; en el procesamiento superficial de revestimientos conductores de metal y metales no ferrosos; en la producción de electrodos internos y otros componentes electrónicos; y como aditivos lubricantes nanometálicos y una diversidad de otras aplicaciones basadas en nanotecnología. Pero, sin duda, las aplicaciones más llamativas en especial en el ámbito local son aquellas que tienen que ver con la eficacia bactericida de las nanopartículas de cobre, la cual se debe tanto a la fácil liberación de iones por la alta reactividad de las partículas nanométricas, como a la gran área superficial de las mismas que permite la interacción con la membrana bacteriana.

Cada día se suman muchos esfuerzos en el desarrollo de nuevas aplicaciones relacionadas con nanomateriales basados en cobre. Estos direccionan las investigaciones tecnológicas

*conductive inks and pastes that contain nanoparticles of copper, these can be used as a substitute for the very expensive noble metals used in the printed electronics, screens and transmitter, conductive thin film applications; in the surface processing of metal and non-ferrous metal conductors; in the production of internal electrodes and other electronic components; and as nanometallic lubricants and a variety of other applications based on nanotechnology. But, undoubtedly, the most striking applications particularly at the local level are those that have to do with the bactericidal effectiveness of copper nanoparticles, which is due to both the easy release of ions because of the high reactivity of nanometric particles, as well as the large surface area of these particles that permits the interaction with the bacterial membrane.*

*Every day many efforts are added to the development of new applications related to nanomaterials based on copper. These efforts are divided into two technological research streams: the first is the search for new clean, economic and reproducible methods of synthesis; and the second, the development of new applications that not only depend on copper's antibacterial property, even at the macroscale, but also focus on the unique characteristics of copper at the nanoscale.*

en dos corrientes: la primera es la búsqueda de nuevos métodos de síntesis, limpios, económicos y reproducibles; y la segunda, el desarrollo de nuevas aplicaciones que no solo dependan de la propiedad antibacterial que tiene el cobre hasta en la escala macro, sino también aquellas que apuntan a las características únicas que posee la materia a escala nanométrica.

En el primer caso, la situación no es sencilla ya que aún siguen las investigaciones que prometen un buen producto (morfología y tamaños óptimos), con una baja dispersión de tamaños y formas. Esto es muy importante ya que, como se mencionó, las propiedades de la nanoescala dependen tanto de la forma como del tamaño. Una vez obtenidos los nanopolvos y verificado que el proceso de síntesis es reproducible, se debe escalar para su producción semi o industrial. Los inconvenientes para realizar el escalamiento radican fundamentalmente en la viabilidad y rentabilidad de los procesos, lo que se traduce en nanomateriales muy costosos, poco atractivos e impuros para ser usados en el desarrollo de productos. Para que un producto multifuncional compita en el mercado, su precio (si bien un poco más elevado que el producto común) no debe ser extremadamente alto. Lo anterior representa un importante inconveniente debido a que las oportunidades de negocios y la innovación en nuevos productos dependen de la materia prima: los nanomateriales de cobre.

Otro desafío es la alta reactividad de la superficie metálica de las nanopartículas de cobre. Si la reacción para obtenerlas se hace en solución, donde generalmente se utilizan sales metálicas como nitrato de cobre, es muy probable que especies producidas en la reacción se absorban a la superficie. En algunos casos, se utilizan moléculas estabilizadoras como surfactantes para evitar la agregación y posterior floculación de las nanopartículas. Esto es contraproducente debido a que se pasiva (inactiva) la superficie metálica debido al fuerte vínculo de esta con el surfactante. Con ello, ocurre la pérdida de actividad antimicrobiana porque no se pueden liberar iones tóxicos para las bacterias y microbios. A esto se le suma que las nanopartículas son muy susceptibles a oxidarse al ambiente y en el proceso de desarrollo de productos se requieren aditivos que pueden promover la oxidación de las partículas. Sin embargo, productos como paredes o superficies autolimpiables, que se basan en otro fenómeno diferente a la actividad antimicrobiana, pueden desarrollarse con la superficie metálica pasivada, al igual que nanolubricantes en donde la propiedad nano significativa es la superplasticidad que poseen las nanopartículas de cobre en conjunto con su conductividad térmica.

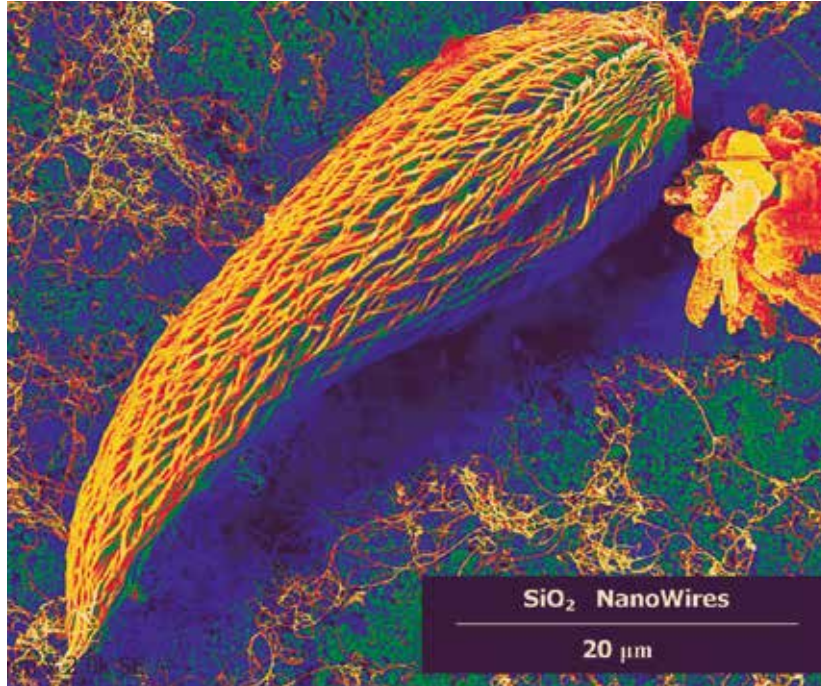
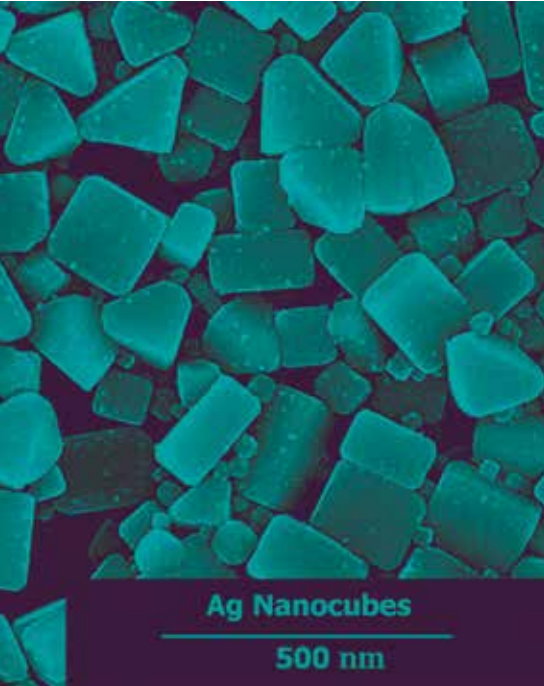
Después de suplir algunos de los anteriores inconvenientes, queda como desafío el escalamiento para satisfacer los altos volúmenes de producción de nanomaterial que se necesitará para el desarrollo y comercialización de los productos. Es por eso que el NANODARC SYSTEM® es un sistema

*In the first case, the situation is not simple because research that promises a good product (optimal morphology and size) with a low dispersion of sizes and shapes is still underway. This is very important because, as mentioned above, the properties of the nanoscale depend on both the shape and size. Once the nanopowders have been obtained and it has been verified that the synthesis process can be replicated, the process must scale up to semi or industrial production. The obstacles to scaling up are primarily the feasibility and profitability of the processes, which results in very expensive, unattractive and impure nanomaterials for use in the development of products. For a multifunctional product to compete in the market, the price (although a little higher than the common product) should not be exorbitantly high. The foregoing represents a major drawback because the opportunities for business and innovation in new products depend on the raw material: copper nanomaterials.*

*Another challenge is the high reactivity of the metal surface of copper nanoparticles. If the reaction to obtain them is carried out in a solution, where generally metal salts such as copper nitrate are used, it is very likely that species produced in the reaction be absorbed to the surface. In some cases, stabilizer molecules are used as surfactants to prevent the aggregation and subsequent flocculation of nanoparticles. This is counterproductive because the metal surface becomes passive or inactivated due to the strong bond generated with the surfactant. Consequently there is a loss of antimicrobial activity because toxic ions cannot be released to act against bacteria and microbes. To this, we must add the fact that nanoparticles are very susceptible to rust when exposed to the environment and that in the product development process, additives that can promote the oxidation of the particles are required. However, products such as walls or self-cleaning surfaces, which are based on a phenomenon other than the antimicrobial activity, can be developed with the passivated metal surface, like nanolubricants where the significant nano property is the superplasticity of the copper nanoparticles in conjunction with their thermal conductivity.*

*After overcoming some of the above obstacles, the challenge is scaling up to meet the high production volumes of nanomaterial that will be needed for the development and marketing of products. That is why the NANODARC SYSTEM® is an economic, clean and quick system for the production of semi-industrial nanocopper volumes. The technology of the prototype, as well as its established configurations, allow obtaining not only nanomaterials based on copper but also on others metals such as Zn, Ag, Al, Fe and their metal oxides. The equipment is compact, continuous, easy to operate and versatile.*

*On the other hand, figure 4 shows some products developed with the nanopowders obtained with the NANODARC SYSTEM® prototype, which have antimicrobial properties and improved mechanical characteristics that have been developed in our research group.*



económico, limpio y rápido para la producción de volúmenes semi-industriales de nanocobre. La tecnología que presenta el prototipo, así como sus configuraciones establecidas, permiten la obtención no solo de nanomateriales basados en cobre sino también de otros como zinc, plata, aluminio, hierro y sus óxidos metálicos. El equipo es compacto, continuo, de fácil operación y versátil.

Por otra parte, en la figura 4, se muestran algunos productos desarrollados con los nanopulvos obtenidos del prototipo NANODARC SYSTEM® los cuales presentan propiedades antimicrobianas y propiedades mecánicas mejoradas que han sido desarrolladas en nuestro grupo de investigación.

#### FUTURO

Si bien con el prototipo DARC-ACI se logró sintetizar distintos materiales en la nanoescala, el enfoque actual es realizar un *upgrade* a la máquina con la cual se seleccionarán partículas de un tamaño específico y una distribución estrecha de tamaños, para tener un producto (nanomaterial) con una distribución lo más estrecha posible. Respecto de ello, se está realizando el desarrollo del tamiz nanoespecializado que se acopla a nuestra máquina y permite obtener el tipo de material deseado lo menos mezclado posible. Experimentos preliminares nos han permitido conseguir nanopartículas de cobre de un tamaño promedio de 36 nanómetros, distribuidos estrechamente entre 20 y 50 nanómetros. Con este producto se puede aspirar a desarrollos más avanzados que incluyen: supercapacitores, sensores, celdas solares, fotodetectores, lubricantes y refrigerantes, entre otros<sup>14</sup>.

El prototipo NANODARC SYSTEM® es una herramienta versátil para la obtención de nanomateriales (nanocobre) a escala semi-industrial. Los nanomateriales obtenidos del

#### PROSPECTS

Although the DARC-ACI prototype managed to synthesize different materials at the nanoscale, we are currently focused on upgrading the machine we will use to select particles of a specific size and a narrow distribution of sizes to have a product (nanomaterial) with a distribution as narrow as possible. We are developing a nanospecialized sieve that will be attached to our machine and will allow obtaining the desired type of material as pure as possible. Preliminary experiments have allowed us to get copper nanoparticles of an average size of 36 nanometers, closely distributed between 20 and 50 nanometers. With this product we can aspire to more advanced developments including: supercapacitors, sensors, solar cells, photodetectors, lubricants and coolants, among others<sup>14</sup>.

The NANODARC SYSTEM® prototype is a versatile tool for obtaining nanomaterials (nanocopper) on a semi-industrial scale. Nanomaterials obtained with the equipment do not have impurities and their surface is not inactive so they can be used as antimicrobial additives in the development of new multifunctional products. The challenge of innovation in the market for nano products will be benefited by cheaper raw materials that can be obtained through a replicable, scalable process. Research related to the social and ethical risks implied by nanotechnology should be conducted parallel with the development of products.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Conicyt of the Government of Chile for the Fondef IT13i10054 project funds used to conduct the research, as well as the research group in advanced nanocomposites, GINA of the University of Concepción and Dr. Eduardo Pérez of the nanoscience and nanotechnology group of the Autonomous University of Nuevo Leon, Mexico.

<sup>14</sup> Zhang Q., Zhang K., Xu D., Yang G., Huang H., Nie F., Liu C., Yang S., 2014.



equipo no presentan impurezas y su superficie no se encuentra inactiva, por lo que pueden usarse como aditivos antimicrobianos en el desarrollo de nuevos productos multifuncionales. El desafío en la innovación en el mercado de los productos nano se verá beneficiado con materias primas más baratas que puedan ser obtenidas a través de un proceso reproducible y escalable. Se deben hacer investigaciones paralelas al desarrollo de productos que estén relacionadas con el riesgo social y ético que implica la nanotecnología.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Conicyt Gobierno de Chile por los fondos del proyecto Fondef IT13i10054 con que se desarrolló la investigación. Al grupo de investigación en nanocompuestos avanzados GINA de la Universidad de Concepción y al Dr. Eduardo Pérez del grupo nanociencia y nanotecnología de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

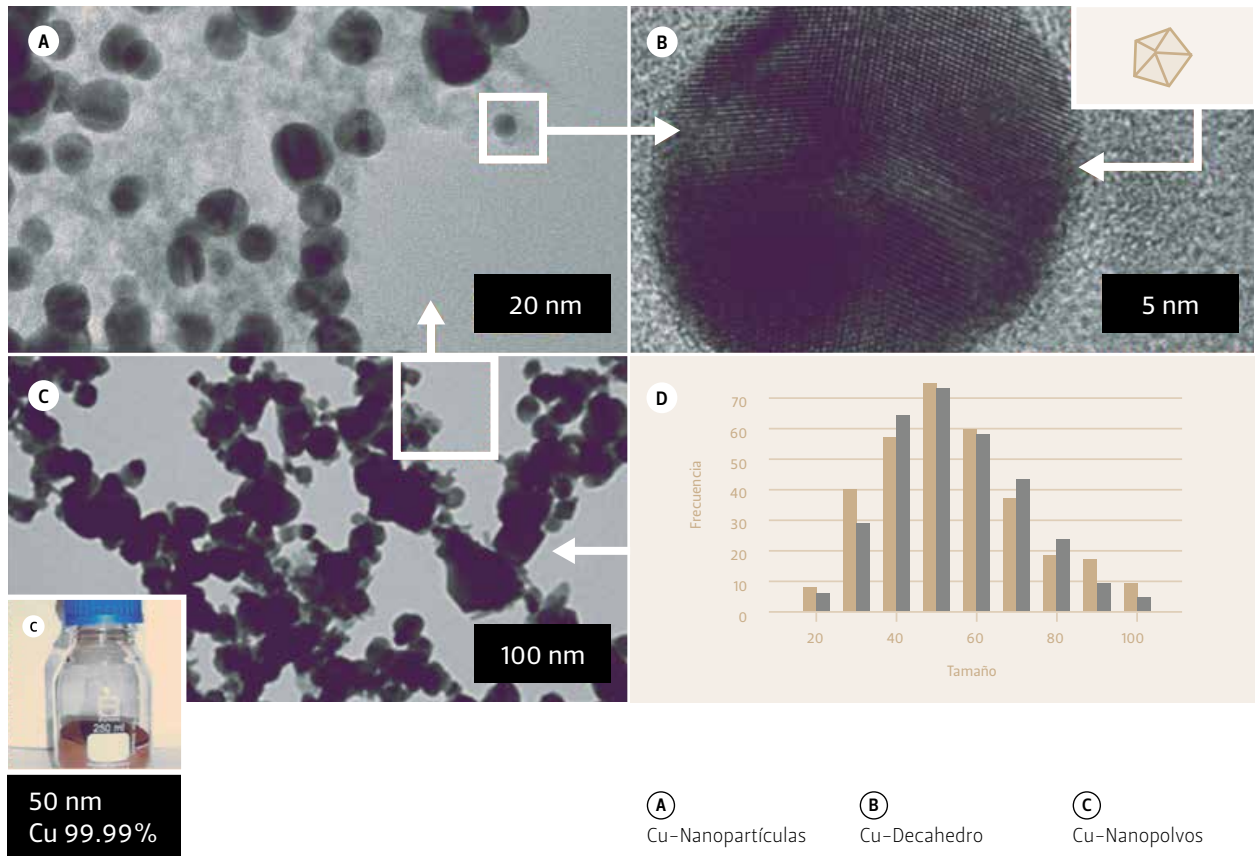
---

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHY REFERENCES

- Al-Saleh M., 2015. "Influence of conductive network structure on the EMI shielding and electrical percolation of carbón nanotube/polymer nanocomposites", *Synthetic Metals*.
- Ashby M., Ferreira P., Schodek D., 2009. *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*. Butterworth-Heinenmann Ed., UK.
- Craighead H., 2006. "Future lab-on-a-chip technologies for interrogating individual molecules", *Nature*.
- Cuce E., Cuce P., Wood C., Riffat S., 2014. "Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Dubay K., Mondal R., Grover V., Bhardwaj Y., Tyagi A., 2015. "Development of a novel strain sensor base don fluorocarbon-elastomeric nanocomposites: Effect of network density on the electromechanical properties", *Sensors and actuators A*.
- Hanus M., Harris A., 2013. "Nanotechnology innovations for the construction industry", *Progress in Materials Science*.
- Islam N., Miyazaki K., 2010. "An empirical analysis of nanotechnology research domains", *Technovation*.
- Koo J.H., 2006. *Polymer Nanocomposites: Processing, characterization and applications*. McGraww Hill Ed., New York.
- Martin J. M., Ohmae N., 2008. *Nanolubricants*. John Wiley & Sons Ed., UK.
- Ortega E., 2009. *Nanotecnología: avances, expectativas y riesgos*. Andoni Ibarra Ed., Madrid.
- Schodek D., 2014. *Nanomaterials in Design*. Karana E., Pedgley O., Rognoli V. Eds., UK.
- Weigl B., Bardell R. L., Cabrera C. R., 2003. "Lab-on-a-chip for drug development", *Advanced Drug Delivery Reviews*.
- Wu R., Zhou K., Yue C. Y., Wei J., Pan Y., 2015. "Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials", *Progress in Materials Science*.
- Zhang Q., Zhang K., Xu D., Yang G., Huang H., Nie F., Liu C., Yang S., 2014. "CuO nanostructures: Synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications", *Progress in Materials Science*.

**Figura 3**

- A. Nanopartículas de cobre obtenidas en configuración 3 mediante la cual el sistema TEP separa las partículas.
- B. Micrografía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) donde se observa una estructura de decaedro típica de estas partículas.
- C. Nanopolvos obtenidos sin separación configuración 2 del equipo.
- D. Distribución de tamaño de partícula y polvos obtenidos.



**Figura 4**

- A. Nanocompuestos basados en Resinas/nanopolvos de ZnO.
- B. Gel antibacterial sin alcohol pasado en partículas coloidales de nanocobre.
- C. Prótesis dentales antifúngicas y antibacterial con propiedades mecánicas mejoradas. (Solicitud de patente nacional 2014-03518).

