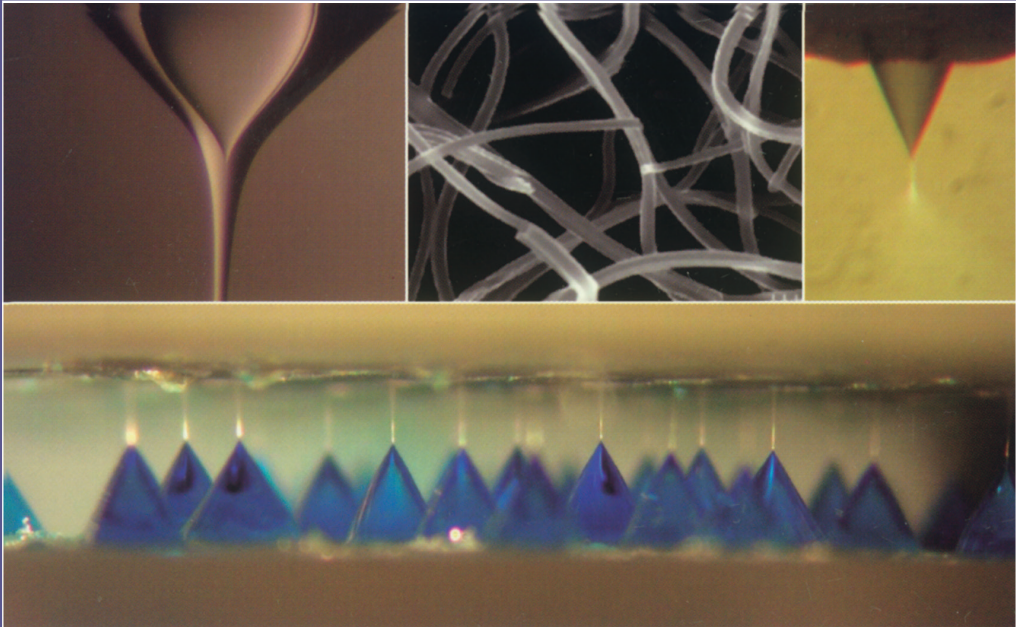


*II Premio a la Investigación  
Javier Benjumea Puigcerver (edición 2004)*

---



# **Generación de nanopartículas de estructuras compleja por medios electrohidrodinámicos**

---

Antonio Barrero Ripoll

Editorial Universidad de Sevilla

*II Premio a la Investigación Javier Benjumea Puigcerver (edición 2004)*

# **Generación de nanopartículas de estructura compleja por medios electrohidrodinámicos**

---

Antonio Barrero Ripoll



SEVILLA 2016

Serie: Ciencias

COMITÉ EDITORIAL:

JOSÉ BELTRÁN FORTES

(DIRECTOR DE LA EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA)

MANUEL ESPEJO Y LERDO DE TEJADA

JUAN JOSÉ IGLESIAS RODRÍGUEZ

JUAN JIMÉNEZ-CASTELLANOS BALLESTEROS

ISABEL LÓPEZ CALDERÓN

JUAN MONTERO DELGADO

LOURDES MUNDUATE JACA

JAIME NAVARRO CASAS

M<sup>a</sup> DEL PÓPULO PABLO-ROMERO GIL-DELGADO

ADORACIÓN RUEDA RUEDA

ROSARIO VILLEGAS SÁNCHEZ

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

*Motivo de cubierta:* De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Electro spray compuesto en baño dieléctrico; Nanotubos de óxido de silicio; Electro spray simple; Inyector multi-electro spray.

Edición digital de la primera edición impresa de 2006

© EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA 2016

C/. Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.

Tlfs.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443

Correo electrónico: eus4@us.es

Web: <<http://www.editorial.us.es>>

© ANTONIO BARRERO RIPOLL 2016

ISBNe: 978-84-472-2019-9

Digitalización y realización interactiva:

Fernando Fernández. ed-Libros

*A Roberto Fernández de Caleyá y Álvarez, a quién tanto debe la investigación científica española.*

# Índice

Agradecimientos .....	11
Presentación del Rector, D. Miguel Florencio Lora .....	13
Presentación de los Presidentes de la Fundación Focus-Abengoa, D. Felipe y D. Javier Benjumea Llorente .....	15
Presentación de la Presidenta del Consejo Social, Dña. M <sup>a</sup> Luisa García .....	17
Generación de nanopartículas de estructura compleja por medios electrohidrodinámicos.....	19
Preámbulo .....	19
I. Introducción .....	21
II. Aplicaciones potenciales.....	22
III. Métodos top-down.....	24
IV. Electrospray .....	25
V. Chorros coaxiales electrificados.....	28
VI. Micro y nano-emulsiones .....	34
VII. Escalado de fuentes de electrospray .....	37





Antonio Barrero es Dr. Ingeniero Aeronáutico por la *Universidad Politécnica de Madrid*. Profesor Adjunto de Aerodinámica (en excedencia) en la *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos*, UPM, dese 1975. Desde 1980 es Catedrático Numerario de Mecánica de Fluidos en la *Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingenieros*. De 1972 a 1979 fue Profesor de Mecánica de Fluidos y de Aerodinámica en el *ICAI* y en la *Escuela Superior de Ingenieros de Armas Navales*. Profesor Visitante en la *Universidad de Yale* (1990-1992) y en la *Universidad de California San Diego* (UCSD) (1994, 1995 y 1997) donde ha impartido cursos de Aerodinámica y de Mecánica de Fluidos. En 1994 fue distinguido con el *Annual Teaching Award* de la *Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en San Diego*.

Ha sido Coordinado del Área de Proyectos Industriale en la *Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva* (1989-1993) y Presidente de las Ponencias de Tecnologías de la Información y Comunicaciones y Tecnologías Mecánicas y Textil del Programa de Promoción General del Conocimiento de la *Dirección General de Investigación Científica y Técnica* (1991-1996). Ha sido Vocal del Comité Asesor de Ingeniería y Arquitectura de la *Comisión Nacional de Evaluación de la Actividad Investigadora* en 1994 y Presidente de dicho Comité en 1995 y 1996. Es Académico de Número de la *Academia de Ingeniería de España* desde 1995 y elegido académico de la *Real Academia de Ciencias de Sevilla* en 2005. Ha sido miembro del Scientific Council del *International Center for Mechanical Sciences* desde 1990 a 2005 y miembro electo del Life and Physical Sciences Advisory Committee de la *Agencia Espacial Europea* (2000-2004).

Ha publicado dos libros de texto, una monografía científica y es autor de cerca de dos centenas de trabajos científicos y técnicos publicados en revistas y congresos internacionales. Su actividad investigadora extendida durante cinco sexenios ha sido evaluada positivamente por la Administración española. Ha trabajado en Control Térmico de Satélites (1973-1975) para la *Agencia Espacial Europea*. En el campo de la Fusión por Confinamiento Inercial investigó (1975-189) la interacción de pulsos de muy alta intensidad (láseres y haces iónicos) con la materia. En Hidrodinámica investiga sobre flujos con giro intenso: rotura de vórtices ; empleo de flujos con giro intenso para acondicionamiento de aire (efecto Ranque-Hilsch); autorrotación de masas fluidas. Trabaja también en Atomización fina de líquidos por medios electro-hidrodinámicos (electrospray). Ha investigado la física y las aplicaciones ingenieriles del electrospray y ha descubierto y puesto a punto una nueva técnica para generar chorros coaxiales de líquidos inmiscibles mediante campos eléctricos (Science 295, 5560, 1695-1698, 2002) que se aplica con éxito a la síntesis de nanopartículas de estructura compleja (nanocápsulas, nanoesferas huecas, nanofibras coaxiales, nanotubos, etc). La técnica descubierta está protegida internacionalmente y su uso en el campo de la Tecnología de Alimentos se ha licenciado a *Kraft Food, Inc.*, Glenview, IL. Es co-inventor de otras patentes que protegen las aplicaciones de esta técnica al campo alimentario al farmacéutico y a la tecnología de materiales y que han sido licenciadas también a empresas internacionales y nacionales. Entre las últimas hay que destacar a la empresa *YFLOW Sistemas y Desarrollos*, de la que es socio fundador, dedicada a explotar industrialmente y a realizar desarrollo en el campo de la micro y nano-fluídica.

En este trabajo se presentan algunos de los resultados obtenidos en las investigaciones que sobre electro-atomización y micro y nano-fluídica se llevan a cabo en los laboratorios de Mecánica de Fluidos de las Universidades de Sevilla y Málaga. Parte de estas investigaciones han cristalizado en un técnica que emplea chorros coaxiales electrificados para la síntesis de nanopartículas de estructura compleja: nanocápsulas, nanotubos y nanofibras coaxiales. La técnica mencionada, de una sola etapa, compite con ventaja con otras existentes que recurren al empleo de nano-moldes y necesitan, por tanto, de tres o cuatro etapas costosas para completar el proceso de síntesis de las nanopartículas; por esta razón, esta técnica ha recibido considerable atención internacional.

El interés en la obtención de nanopartículas de estructura compleja estriba en sus potenciales aplicaciones a los campos de la biomedicina y la farmacología (administración controlada de fármacos y otras sustancias de interés biomédico, encapsulado de sustancias, diseño funcional de medicamentos entre otros) o al de los nuevos materiales, o a los de biocatálisis, bioseparación, etcétera.

Entre nuestros resultados figura también el haber atomizado líquidos hidrófilos en el seno de un baño de líquido dieléctricos mediante la técnica de electrospray. La aplicación de este resultado a la obtención de nanoemulsiones simples y dobles se discute también en este trabajo. Por último, se presentan y discuten los diseños llevados a cabo para aumentar a escala industrial los extremadamente bajos (100 microlitros/hora) típicos del electrospray.