

FUNDAMENTOS DE NANOTECNOLOGÍA APLICADA A MATERIALES

Curso propuesto para las carreras de Doctorado en Ciencia de Materiales y Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales (FI, UNMdP)

Docentes: Dr. Gustavo A. Abraham (Profesor Asociado, FI - Investigador Principal de CONICET) - Dr. Silvestre M. Bongiovanni Abel (Jefe de Trabajos Prácticos, FI - Investigador Asistente de CONICET) - Dr. Raúl A. Procaccini (Profesor Adjunto, FI - Investigador Adjunto de CONICET) - Dr. Rodrigo Parra (Profesor Adjunto, FCEYN - Investigador Independiente de CONICET).

Responsable: Dr. Gustavo A. Abraham

Objetivos de la asignatura:

- Introducir a los conceptos más relevantes de la nanotecnología como disciplina en auge y su vinculación con la ciencia e ingeniería de los materiales, incluyendo aspectos transdisciplinarios de diversa índole.
- Dotar a los estudiantes de elementos y capacidades para el análisis crítico sobre cuestiones generales de la nanotecnología y aspectos particulares de los nanomateriales de diversa naturaleza existentes, incluyendo los métodos de fabricación, la caracterización de los mismos y la comprensión de sus propiedades más relevantes.
- Realizar un abordaje global de la nanotecnología y los materiales en la nanoescala considerando las aplicaciones y proyecciones a futuro en el campo biomédico y de la salud, energético y medioambientales, así como también cuestiones éticas y regulaciones existentes.

Carga horaria total: 48 horas

Clases teóricas: 48 horas

UVACs propuestos: 4 UVACs

Fecha: Primer semestre de 2025 (comienzo en mes de marzo)

Cronograma: 12 semanas. Se darán dos clases semanales de 2 horas de duración cada una. Total: 48 horas.

Modalidad de dictado: Cursada presencial. Clases teóricas y de presentaciones de seminarios durante y al finalizar el curso. Se proveerá material soporte en el Campus de la Facultad de Ingeniería (UNMdP). Cupo máximo de alumnos estimado: 20 (veinte).

Modalidad de evaluación: Para la aprobación del curso se requiere asistencia a un 80% de las clases. Se deberá además aprobar la exposición de seminarios. Al final de la cursada, existirá una instancia de evaluación escrita u oral mediante un examen final totalizador y su correspondiente recuperatorio.

Profesionales a los que está destinado el curso: Inscriptos en carreras de posgrado de la Facultad de Ingeniería UNMdP, docentes de la Universidad, inscriptos en carreras de posgrado de organismos nacionales, profesionales interesados en la temática.

Descripción: Este curso pretende abordar de un modo transdisciplinar los conceptos más relevantes de la nanotecnología en el campo de la ciencia e ingeniería de los materiales, incluyendo aspectos históricos, legales, éticos, métodos de fabricación y propiedades de materiales de diversa naturaleza (poliméricos, metálicos, cerámicos, compuestos, etc.) y aplicaciones en diversos campos

(biomedicina, remediación y catálisis, sensado y biosensado, energía, entre otros). Las unidades se dividirán de la siguiente manera:

- Unidad 1: Introductoria
- Unidad 2: Métodos generales de obtención y fabricación
- Unidad 3: Propiedades de nanomateriales
- Unidad 4: Técnicas generales de caracterización
- Unidad 5, 6, 7, 8 y 9: Estudio de diversos nanomateriales en particular, según su naturaleza
- Unidad 10: Aplicaciones tecnológicas de nanomateriales
- Unidad 11: Aspectos regulatorios

Material Básico: Se dictarán clases teóricas (empleando transparencias, videos y proyecciones de tipo Power Point), en continua interacción con los alumnos, propiciando el análisis crítico y concienzudo de las diversas temáticas, relacionando los principios y fundamentos con las aplicaciones de la Nanotecnología y los materiales de diversa naturaleza. Se respaldará además con guías de estudio para los alumnos, resaltando los principales aspectos de las clases teóricas. La exposición de seminarios basados en artículos de investigación actuales seleccionados adecuadamente se dará en diversas instancias a lo largo de todo el curso. Se proveerá a los alumnos de la bibliografía necesaria para complementar el estudio (ver ítem Bibliografía).

Contenidos mínimos: Nanociencia y nanotecnología. Diferentes tipos de nanomateriales: naturaleza, morfología y propiedades. Métodos de fabricación “*top-down*” y “*bottom up*”. Efectos superficiales en nanomateriales. Teoría coloidal. Caracterización de nanomateriales. Técnicas de dispersión de luz. Microscopías electrónicas. Microscopía de fuerza atómica. Espectroscopías. Nanomateriales en base a carbono. Nanopartículas cerámicas. Nanomateriales poliméricos y (bio)nanocompuestos. Nanopartículas metálicas. Nanomateriales magnéticos. Puntos cuánticos. Sistemas autoensamblados. Materiales jerárquicos. Superficies nanoestructuradas. Aplicaciones biomédicas de nanomateriales. Sensado/biosensado. Aplicaciones en energía y medio ambiente. Aspecto legal y regulatorio de la nanotecnología. Aspectos éticos de la nanotecnología.

Programa analítico:

- **UNIDAD 1: INTRODUCCION A LA NANOTECNOLOGÍA**

Origen y desarrollo de la Nanotecnología. Aspectos históricos. El nanometro en la escala de tamaños. Propiedades de los materiales en la nanoescala. Introducción a los diferentes tipos de nanomateriales: naturaleza, morfologías, y principales características distintivas. Películas multicapas. Nanohilos. Nanopartículas. Nanofibras. Hitos de la nanotecnología. Ejemplos de aplicaciones cotidianas y productos comerciales. Abordaje transdisciplinar de la nanotecnología y el rol de cada una de las disciplinas. Nanotecnología en el ámbito académico. Nanotecnología, materiales y mercado. Implicaciones y perspectivas económicas, ambientales, sociales y éticas.

- **UNIDAD 2: MÉTODOS GENERALES DE OBTENCIÓN Y FABRICACIÓN DE NANOMATERIALES**

Aproximaciones “*top-down*” y “*bottom up*”. Aspectos de la micro y nanofabricación. Límites de la tecnología microelectrónica. Manipulación atómica y molecular. Sala blanca: concepto, principales aspectos y requerimientos. Litografías: convencionales y alternativas. Ablación láser. Técnicas láser para estructuración: Litografía por Interferencia Láser (LIL), *Direct Laser Interference Patterning* (DLIP) y otros. Películas delgadas: *dip-coating*, *spin-coating* y *spray-coating*. Otros tipos de nanoestructuras. Mecanoquímica. Sonoquímica. Métodos de fabricación en fase vapor. Sistemas

coloidales. Métodos húmedos. Estabilidad de nanomateriales e interacciones. Nucleación y crecimiento. Agentes estabilizantes. Procesos hidrotérmicos. Introducción al proceso sol-gel. Crecimiento de cristales: factores termodinámicos y cinéticos. Técnicas de procesamiento electrohidrodinámico: *electrospinning* y *electrospraying*.

- **UNIDAD 3: PROPIEDADES DE LOS NANOMATERIALES**

Comparación de las propiedades en *bulk* y la nanoescala. Aspectos geométricos. Efectos superficiales y de confinamiento cuántico. Efecto Casimir. Teoría de Mie. Resonancia de plasmón superficial (RPS). Radiación e interacción. Efectos plasmónicos. Propiedades eléctricas. Área superficial. Coloides. Atracciones de van der Waals. Floculación. Propiedades mecánicas. Propiedades superficiales: mojabilidad y ángulo de contacto.

- **UNIDAD 4: TÉCNICAS BÁSICAS EN CARACTERIZACIÓN DE NANOMATERIALES**

Técnicas de dispersión de luz estática (SLS) y dinámica (DLS): Ecuación de Stokes-Einstein. Función de correlación. Límites de aplicabilidad. Potencial Z: carga superficial. Microscopías electrónicas (SEM y TEM): Principios y fundamentos. Características generales del instrumental. Análisis de imágenes obtenidas por diferentes microscopías electrónicas. Análisis de rayos X de energía dispersiva (EDAX). Microscopía de fuerza atómica (AFM). Fuerzas de interacción entre *tip* y muestra. Alternativas en modos de operación. Acoplamiento y variantes al AFM convencional. Microscopía de efecto túnel (STM: aspectos fundamentales. Nanoindentación. Espectroscopías ópticas y de fluorescencia de avanzada. Introducción a técnicas de difracción de rayos X (XRD) y dispersión de rayos X a bajo ángulo (SAXS, WAXS, GISAXS). Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS). Espectroscopías vibracionales (FTIR y Raman). Espectroscopía UV-Visible para plasmones.

- **UNIDAD 5: NANOMATERIALES CARBONOSOS**

Carbono. Formas alotrópicas del carbono. Fullerenos (C_{60}). Nanotubos de carbono: pared simple (SWCNT) y pared múltiple (MWCNT). Grafeno. Derivados de grafeno: óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido. Carbones porosos. Aspectos sintéticos. Funcionalización y biofuncionalización. Propiedades ópticas. Propiedades conductoras. Uso como rellenos en materiales compuestos. Propiedades mecánicas.

- **UNIDAD 6: NANOMATERIALES CERÁMICOS Y RELACIONADOS**

Rutas de procesamiento cerámico. Proceso sol-gel. Cerámicos tradicionales, vidrios y vitrocerámicos. Cementos. Nanomateriales refractarios. Comportamiento de cerámicos en la nanoescala: mecánico, electromagnético, óptico, químico, biológico y térmico. Óxidos nanoestructurados: SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 . Zeolitas y derivados. Cerámicos porosos. Recubrimientos cerámicos nanoestructurados.

- **UNIDAD 7: NANOMATERIALES DE NATURALEZA POLIMÉRICA**

Aspectos sintéticos de nanomateriales poliméricos. Funcionalización. Nanocompuestos poliméricos. Matrices termoestables y termoplásticas. Bionanocompuestos. Hidrogeles porosos. Nanomateriales poliméricos inteligentes: sensibilidad a temperatura, radiación, pH, otros. Nanogeles. Nanomateriales basados en polímeros conductores: polianilina, polipirrol y derivados. Propiedades electromagnéticas. Nanofibras poliméricas sintéticas: poliésteres alifáticos, poliuretanos. Polímeros naturales y nanoestructuras biobasadas: proteínas y polisacáridos de origen animal y vegetal.

- **UNIDAD 8: NANOPARTÍCULAS METÁLICAS Y SEMI-CONDUCTORAS**

Clusters metálicos. Nanopartículas metálicas típicas: Au, Ag. Propiedades ópticas y superficiales. Introducción a nanoplasmonica. Nanopartículas bimetálicas. Semi-conductores (CdS, ZnO) y puntos cuánticos. Partículas magnéticas. Tipos de magnetismo. Magnetismo en la nanoescala. Mediciones magnéticas estáticas y dinámicas. Redes metalorgánicas (MOFs y derivados).

- **UNIDAD 9: SISTEMAS AUTOENSAMBLADOS, SUPERFICIES Y MATERIALES JERÁRQUICOS Y POROSOS CON ARQUITECTURA NANO**

Nanomateriales y clasificación por tamaños de poros. Sistemas organizados. Micelas clásicas y poliméricas. Vesículas. Niosomas y polimerosomas. Liposomas. Emulsiones. Sistemas empleando dendrímeros. Sistemas autoensamblados capa por capa (LbL). Sistemas jerárquicos.

- **UNIDAD 10: APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LOS NANOMATERIALES**

Aplicaciones en el campo biomédico. Nanotecnología y sistemas de liberación controlada de principios activos y drogas. Nanotecnología en procesos de medicina regenerativa e ingeniería de tejidos. Terapias anticancerígenas. Terapias antimicrobianas: terapia fototérmica y terapia fotodinámica. Teragnosis. Toxicidad de nanomateriales: aspectos principales. Nanomateriales y técnicas de manufactura aditiva. Impresión 3D. Tipos de impresión, ventajas y desventajas. Principales nanomateriales incorporados en filamentos y biotintas. Aplicaciones en sensado/biosensado. Sensores ópticos. Sensores electroquímicos. Detección de biomoléculas. Nanomateriales en actuadores. Aplicaciones en catálisis, energía y medio ambiente: adsorción. Procesos fenton y fotofenton empleando nanopartículas. Nanomateriales y remediación ambiental. Nanopartículas como biocidas. Nanomateriales para el almacenamiento de hidrógeno. Dispositivos emisores y detectores de luz. Celdas solares y baterías. Nanomateriales para la conversión fotovoltaica y termoeléctrica. Optoelectrónica.

- **UNIDAD 11. ASPECTOS REGULATORIOS DE LA NANOTECNOLOGÍA**

Nanotecnología y su impacto ambiental. Impacto económico. Legislación. Organismos reguladores. Nanotecnología en el mundo y en Argentina. Empresas en Nanotecnología. Patentes. Normas internacionales en nanotecnología. Desafíos y perspectivas a corto y mediano plazo. Nanobioética.

Bibliografía (básica y complementaria):

- 1- Ratner, M. A., & Ratner, D. (2003). *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. Prentice Hall Professional.
- 2- Poole, C. P., & Owens, F. J. (2007). *Introducción a la nanotecnología*. Reverté.
- 3- Klabunde, K. J., & Richards, R. M. (Eds.). (2009). *Nanoscale materials in chemistry*. John Wiley & Sons.
- 4- Briones Llorente, C., Casero Junquera, E., Martín-Gago, J. Á., & Serena Domingo, P. A. (2009). *Nanociencia y Nanotecnología: Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*.
- 5- Introduction to Nanoscale Science and Technology. Version 1. ISBN 978-09837896-0-4. NanoInk, Inc. (2010).
- 6- Binns, C. (2021). *Introduction to nanoscience and nanotechnology*. John Wiley & Sons.
- 7- Thomas, S., Thomas, R., Zachariah, A. K., & Kumar, R. (Eds.). (2017). *Microscopy methods in nanomaterials characterization* (Vol. 1). Elsevier.
- 8- Kalarikkal, N., Mohan, S., Oluwafemi, S. O., & Thomas, S. (2018). *Characterization of Nanomaterials: Advances and Key Technologies*. Woodhead Publishing.
- 9- Tantra, R. (2016). *Nanomaterial characterization: An introduction*. John Wiley & Sons.
- 10- Goyal, R. K. (2018). *Nanomaterials and Nanocomposites Synthesis. Properties, Characterization Techniques, and Applications*.
- 11- Cao, G. (2004). *Nanostructures & nanomaterials: synthesis, properties & applications*. Imperial College press.
- 12- O'connell, M. J. (2018). *Carbon nanotubes: properties and applications*. CRC press.
- 13- Yang, N. (2020). *Synthesis and applications of nanocarbons*. John Wiley & Sons.

- 14- Yamabe, T., Fukui, K., & Tanaka, K. (1999). *The science and technology of carbon nanotubes*. Elsevier.
- 15- Mishra, A. K. (Ed.). (2018). *Smart ceramics: preparation, properties, and applications*. CRC Press.
- 16- Sarkar, D. (2018). *Nanostructured ceramics: characterization and analysis*. CRC Press.
- 17- Vanden Bout, D. A. (2002). *Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications* Edited by Daniel L. Feldheim (North Carolina State University) and Colby A. Foss, Jr. (Georgetown University). Marcel Dekker, Inc.: New York and Basel. 2002. ISBN: 0-8247-0604-8.
- 18- Lin, C. C., Mauri, E., & Rossi, F. (2023). *Advances in Nanogels* (p. 172). MDPI- Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- 19- Narain, R. (Ed.). (2020). *Polymer science and nanotechnology: fundamentals and applications*. Elsevier.
- 20- Popa, M., & Uglea, C. V. (Eds.). (2013). *Polymeric Nanomedicines*. Bentham Science Publishers.
- 21- Thomas, S., Kalarikkal, N., & Abraham, A. R. (Eds.). (2023). *Applications of Multifunctional Nanomaterials*. Elsevier.
- 22- Steed, J. W., Turner, D. R., & Wallace, K. J. (2007). *Core concepts in supramolecular chemistry and nanochemistry*. John Wiley & Sons.
- 23- Dalton-Brown, S. (2015). *Nanotechnology and Ethical Governance in the European Union and China*. Springer Books.
- 24- Hodge, G. A., Bowman, D. M., & Maynard, A. D. (2010). *International Handbook on Regulating Nanotechnologies*. Edward Elgar Publishing Ltd..
- 25- Bailo, G. L. (2018). *Regulating Nanotechnologies in Argentina. About Polysemy and Instability of Nano-Objects A regulação das nanotecnologias na Argentina. Sobre polissemia e instabilidade dos nano-objetos*. Universidad de la República. Revista de la Facultad de Derecho. ISSN: 0797-8316.

Se trabajará además permanentemente a lo largo del curso con artículos y revisiones de los últimos cinco años disponibles en la literatura de revistas como: *Nanoscale, Materials Horizons, Nanomaterials, Nature Nanotechnology, Advanced Materials, Nanotechnology, Advanced Functional Materials, NanoLetters, ACS Nano, Small, Polymers, Molecules, Pharmaceutics, Biomaterials, Carbon, ACS Applied Materials & Interfaces, Advanced in Colloids and Interface Science, entre otros*.