



ESCUELA DE INVIERNO 2025

1-Nombre del curso:

Actualización en Nanomateriales Bidimensionales (Grafeno y otros). Obtención, propiedades y Aplicaciones.

Facultad de Ingeniería.

2- Destinatarios: El curso está destinado a estudiantes del último año de carrera de grado, estudiantes de posgrado, docentes, y profesionales afines con la ciencia de los materiales, las ingenierías, la fisicoquímica, la física del estado condensado y los biomateriales. Los nuevos nanomateriales, en particular los bidimensionales (2D), poseen propiedades y aplicaciones sorprendentes que abarcan transversalmente las áreas antes mencionadas requiriendo de una constante actualización e interacción entre distintas disciplinas.

3- Duración: 30 horas distribuidas en cursadas virtuales con una extensión total de 2 semanas y un mínimo de 2 encuentro sincrónicos a través de la plataforma Zoom.

4- Planificación de la propuesta:

a) Presentación docente

Profesor Coordinador: Dr. Francisco J. Ibañez (INIFTA-UNLP-CONICET)

Profesores:

Dra. Gabriela Lacconi (INFIQC, Córdoba, Argentina)

Dra. Laura Serkovic (Inst. Balseiro, Bariloche)

Dr. Martín Bellino (CNEA, CONICET)

Dr. Luis Foá Torres (Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile)

Dr. Gustavo Morales (URC, Córdoba, Argentina)

Dr. Santiago Barrionuevo (INIFTA-Zaragoza-CONICET)

Inga. Josefina Ventre (tesista doctoral INIFTA-UNLP)

b) Presentación de índice de temas/contenidos

Objetivos Generales. Brindar conocimiento en los avances que están sucediendo con la aparición de los nuevos nanomateriales en particular el grafeno el cual fue descubierto en el 2004 y galardonado con el Premio Nobel en el 2010. Este año se cumplen 15 años desde su

máximo galardón. La ciencia e ingeniería en materiales están teniendo un rol protagónico en muchas áreas de aplicación como son sensores, circuitos integrados, paneles solares, baterías de Litio, etc. Introducir inicialmente temas relacionados con la obtención de los nanomateriales bidimensionales (NM 2D) por las vías de *bottom-up* y *top-down* con un enfoque particular en grafeno y cómo éste podría cambiar el paradigma en la era actual “*Silicon Valley*” considerando que el grafeno puede doparse o reducirse en tamaño, rotarse uno con respecto a otro, o apilarse de distintas maneras con el fin de modificar sus optoelectrónicas. Estudiar las técnicas de obtención de derivados de grafeno como los *graphene quantum dots* (GQDs) (entre 2 a 10 nm de diámetro), los cuales tienen propiedades de absorción y fluorescencia que varían con el tamaño, su geometría, las hibridaciones sp^2/sp^3 y los grupos funcionales en los bordes. Estudiar la obtención y propiedades de otros NM 2D como los dicalcogenuros metálicos como el MoS_2 entre otros. Dentro de las fascinantes propiedades de los NM 2D y los *graphene quantum dots* (GQDs) (llamados indistintamente de muchas formas), introducir herramientas teóricas que permitan modelar la distribución de energías en NM 2D permitiendo así determinar cómo varia la densidad de estados con el tamaño, la geometría de borde, y los grupos químicos funcionales. Ver la mayoría de técnicas de caracterización microscópicas y espectroscópicas de NM 2D en general y grafeno en particular. Intentar mostrar las aplicaciones actuales más relevantes con un enfoque particular en la combinación de los NM 2D con otros nanomateriales que permitan una mayor sinergia de sus propiedades y consecuentemente en la aplicación de interés. Desarrollar cuáles son los avances de estos NM 2D en las distintas áreas de aplicación como en remediación ambiental, fotocatalisis, detección y tratamiento médico, electrónica, etc. con un enfoque particular en temas relacionados con las energías renovables (paneles solares, todas las generaciones de fotovoltaicos, fotoánodos, etc.)

Objetivos específicos del curso. Introducir aspectos generales sobre nanotecnología y nanociencia. Conceptos básicos: Las dos formas de obtención de nanomateriales: desde abajo hacia arriba (*bottom-up*) y desde arriba hacia abajo (*top-down*). Abordar la importancia que tiene conocer las propiedades de los nanomateriales para luego poder volcarlos en aplicaciones que mejoren nuestra calidad de vida. Veremos en términos generales como el grafeno está revolucionando el mundo con sus maravillosas propiedades como alta dureza, resistencia química, biocompatibilidad, entre otras.

Síntesis/Obtención por vías ascendentes y descendentes. Se estudiarán todas las síntesis de obtención de grafeno y otros NM 2D. Comenzaremos con el más primigenio que otorgó el premio Nobel que es “aislar grafeno desde exfoliación mecánica de grafito empleando una cinta scotch”. Veremos el método de Hummers seguido de reducción para obtener óxidos de grafeno (GO) reducido, depósitos de vapor químico o *chemical vapor deposition* (CVD), abriendo térmicamente nanotubos de carbono, crecimientos epitaxiales y de sublimación, métodos de intercalado con polímeros, oxidación electroquímica, otros. Se mostrarán métodos de transferencia a sustratos deseados por técnicas de “*fishing*”, en bifase (hexano/etanol), por roll-to-roll, depósitos por electroforesis, etc.

Caracterización. Como herramienta principal se utilizará la microscopia Raman la cual es fundamental a la hora de caracterizar el grafeno principalmente y sus derivados. Esta técnica brinda mucha información al respecto. Podremos saber, por ejemplo, el número de capas grafeno, si las mismas están o no rotadas entre sí, la sensibilidad de la banda 2D frente al ambiente optoelectrónico y químico, la posibilidad de dopar los NM 2D y convertirlos en conductor o semiconductor, de saber si posee defectos, entre otras cosas de mucha relevancia. Con respecto a los derivados de grafeno como los *GQDs* abordaremos técnicas complementarias como FT-IR y XPS para poder caracterizar el ambiente químico de sus grupos funcionales en el borde y los enlace C-C en el centro. Los Rayos-X serán también muy útiles a la hora de conocer mejor las propiedades de los NM 2D. Se mostrarán técnicas microscópicas muy poderosas con TEM de alta resolución (HR-TEM), Fuerza Atómica (*Atomic Force Microscopy, AFM*), Microscopia de Túnel (*Scanning Tunneling Microscopy, STM*), de Barrido de Electrones (*Scanning Electron Microscopy, SEM*), de Transmisión de Electrones (*Transmission Electron Microscope, TEM*) y espectroscopias como Ultravioleta visible (UV-visible). Con esta batería de técnicas podremos conocer en detalle los NM 2D y estudiar sus propiedades.

TIEMPO: 15 HORAS.

Armado de películas (*films*) y propiedades de las Heterojunciones. Se mostrarán las distintas técnicas de ensamblado y formación de películas de los NM 2D. Veremos métodos de transferencia sobre distintos sustratos, *spin coating*, *drop-casting*, deposición electroforética, armado de múltiples capas (formación de legos), etc. Veremos la importancia de combinarlos con metales óxidos principalmente óxidos de Titanio (TiO_2) que permitan armar heterojunciones con una interface que permita separar las cargas y transferirlas a un

colector. Se estudiarán las interfaces entre los distintos tipos de heterojunciones formadas entre GQDs, perovskitas, con quantum dots semiconductores de uso extendido (CdSe, NGe, etc.), y otros nanocarbones con óxidos metálicos tales como TiO₂ (principalmente) y ZnO. En lo que se relaciona directamente con el armado de películas sensibles a la luz solar se verán las siguientes técnicas: a) técnicas de depósito de películas sobre micro electrodos y otros sustratos por ejemplo; transferencia en bifase, *sputtering*, *drop casting*, y *drop-cast deposition*; b) la sinergia que otorga la combinación de NM 2D con otros sustratos; c) diferencia entre películas delgadas y películas gruesas a la hora de cosechar luz y d) Armado de heterojunciones sus tipos y propiedades.

TIEMPO: 5 HORAS

Aplicaciones. Se verán todas las aplicaciones actuales más relevantes relacionadas con los NM 2D con especial énfasis en energías renovables, sensores y catálisis. El grafeno y los semiconductores 2D están revolucionando muchas áreas de ingeniería y de energías renovables. Un ejemplo es la creación de una lámpara de grafeno diseñada por Geim y Novoselov en la Universidad de Manchester que produce más lúmenes por watt que por ejemplo las lámparas fluorescentes. También se verán películas delgadas como GaN para generar luz azul que en las lámparas LED el cual fue galardonado con el premio Nobel en el año 2014. Los grandes avances en el descubrimiento de nuevos nanomateriales también impactan en el área de armado de circuitos integrados, en transistores de efecto de campo donde estos NM 2D puedan usarse como películas sensibles o “*gates*” en el armado de MOSFETs (*metal-oxide semiconducting field effect transistor*) y FETs. Se estudiarán y mostrarán aplicaciones relacionadas con la medicina donde los GQDs cumplen un rol primordial en la detección de células cancerígenas por fluorescencia o en detección de contaminantes en agua. Se tratarán temas como la biocompatibilidad de los GQDs y sus posibilidades de utilizarse como marcadores fluorescentes y otras aplicaciones en diagnósticos médicos. También se abordarán aplicaciones en general de estos NM 2D sin perder el foco en aplicaciones relacionadas con el armado de paneles solares, células fotovoltaicas y construcción de fotoánodos. En este aspecto se verán Celdas Fotovoltaicas hasta la cuarta generación; Paneles solares del tipo DSSC (*dye sensitized solar cells*); Fotoánodos sensibilizados con grafeno; y Armado de electrodos y sensibilizadores de luz con GQDs.

TIEMPO: 5 HORAS

Práctica de Laboratorio y Monografía. Se desarrollará en forma virtual la síntesis de grafeno por el método de “depósito químico de vapores” (en inglés: *chemical vapor deposition*, *CVD*) sobre láminas delgadas de Cu y espumas de Ni. Se mostrarán como se transfiere grafeno desde Cu hacia un sustrato limpio y se evaluarán sus propiedades de transparencia, conductividad, y sensibilidad frente a analitos de interés ambiental. Como evaluación final se solicitará una monografía sobre un tema que vincule alguna propiedad excepcional de algún NM 2D o en su defecto, alguna aplicación que el alumno crea oportuno desarrollar.

* **TIEMPO: 5 HORAS**

2) Recursos y materiales:

I. Texto guía de producción personal: Se brindarán las presentaciones de las temáticas abordadas en formato .pdf junto con la bibliografía indicada para cada módulo de forma tal que el estudiante pueda profundizar en las temáticas a través de otras lecturas o materiales presentados en el aula.

II. Bibliografía: Se brindará material de lectura de lectura (obligatorio, optativo, lecturas sugeridas) para cada unidad del programa que luego será presentada en el aula virtual.

III. Sitios de interés: Se brindarán acceso a páginas web, libros, papers review papers, etc. para obtener información relevante para desarrollar la monografía y acompañar el estudio de los temas desarrollados en el curso. La bibliografía se colocará en una nube (plataforma a definir) con el fin que todos los asistentes tengan acceso.

IV. Los recursos gráficos: Se presentarán los contenidos (fotos, gráficos, videos) mayoritariamente en *power point* con figuras grandes y se videos de alta calidad vinculados a la temática. Se indicará la autoría (copy/right) para cada gráfica, video o simulación.

c) Cronograma

Si bien son requeridos dos (2) encuentros sincrónicos, intentaremos hacer la mayoría de encuentros de esta manera. De esa forma podremos incluir preguntas que surjan espontáneamente de los estudiantes que estén tomando la clase sincrónicamente.

Ambientación. Se armará un foro donde el coordinador pueda ambientar a los asistentes en las herramientas de transferencia de conocimiento, que plataformas se usara, como se accederá a los contenidos de la materia, etc. y se responderán preguntas inquietudes que surjan relacionadas con el armado de curso en general	Comienzo 1º semana
Apertura de la materia. Se presentarán los docentes del posgrado junto con sus respectivas áreas de pericia y desarrollo docente y académico. Los docentes comentarán sus vínculos con los contenidos del posgrado y la importancia de aprender sobre ello. Se mostrarán las páginas donde se podrá recurrir a bibliografía y se compartirán las carpetas en Dropbox con contenido bibliográfico de la materia. También se creará un foro de discusión donde se puedan plantear inquietudes pertinentes al posgrado y un café virtual donde podamos distender y conversar	1º semana 1º clase sincrónica: martes 26 de agosto 18:00 hs

sobre temas que no necesariamente involucren al posgrado.	
Síntesis/Obtención de NM 2D por métodos bottom-up y top-down. Se mostrarán todos los métodos de obtención y síntesis de grafeno y nanomateriales 2D desde abajo hacia arriba y desde arriba hacia abajo (micro/nano fabricación)	1º semana
Armado de películas delgadas y Propiedades optoelectrónicas de los nanomateriales 2D	2º semana
Aplicaciones de NM 2D. Laboratorio virtual y Monografía. Cierre del curso de posgrado	2º semana 2º clase sincrónica: martes 2 de setiembre. 18 hs