



## NEWSLETTER NÚMERO 3 – Año 2024

### 1. EXPERIENCIAS DE EGRESADOS DE LA CARRERA



En esta oportunidad, les acercamos una entrevista a la Dra. María Cecilia Zapata, egresada de nuestra carrera, quien defendió su tesis doctoral titulada *Fabricación y Caracterización de Nano y Microestructuras de Óxidos Semiconductores* en 2016, bajo la dirección de la Dra. Silvia Inés Pérez de Heluani.

María Cecilia, mamá de dos hermosos niños, Benjamín y Matías, se desempeña actualmente como profesora adjunta en las cátedras Física III, Ciencia de los Materiales, Biomateriales, Ondas Electromagnéticas y Óptica, Electricidad y Magnetismo.

Es investigadora del Laboratorio de Física del Sólido (LAFISO) del departamento de Física, representa a dicho departamento ante el Consejo Asesor de Ciencia y Técnica de la FACET y colabora en la coordinación de la Subsecretaría de Posgrado, Investigación e Innovación de la FACET. Además, integra la Comisión Asesora de la Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería (CET) y la Comisión Directiva de la Asociación de Física Argentina (AFA), representando a la filial Tucumán.

María Cecilia nos respondió estas preguntas relacionadas a nuestra carrera:

**Considerás que el Doctorado te brindó lo que necesitabas (en cuanto a contenido y título) para la elección que planificaste?**

Sí me brindó lo que necesitaba.

**Cuáles herramientas, entrenamientos, habilidades adquiridas durante la carrera de doctorado fueron relevantes/útiles para la función donde te desempeñas actualmente?**

Mejoró mi metodología de trabajo experimental con rigor científico, mejoró mi análisis de datos obtenidos, aprendí sobre gestión para compra de insumos a proveedores nacionales e internacionales. Aportó experiencia que puedo transmitir y contar en mis clases. Mejoró la redacción de trabajos científicos y la preparación de exposiciones en congresos.

**En qué etapa del Doctorado comenzaste a planificar la etapa que sigue: ya sea directamente la búsqueda de una salida laboral o realizar un Postdoc?**

No busqué un Postdoc ya que tengo 50 horas cátedras de docencia repartidas en dos universidades Nacionales, ésta es una actividad gratificante, de la cual disfruto: formar a nuevas generaciones de ingenieros y científicos, devolver a la sociedad lo que aprendí en universidades nacionales, públicas y gratuitas. Luego de doctorarme, mi etapa siguiente fue continuar con la misma línea de investigación en el grupo de trabajo en el cual realicé mi tesis: LAFISO, estoy muy bien allí. Ahora me encuentro dirigiendo una tesina de grado, con una beca CIN, y aspiro a preparar más RRHH y a presentarme a convocatorias para dirigir proyectos de I+D.

**Habiendo ya egresado de la carrera y analizando el paso por la misma, qué aspectos notás que se podrían mejorar?**

No veo que haya algo sustancial para mejorar, opino que todo depende del esfuerzo personal que se invierta y de los directores de tesis que te acompañan y guían en este camino de formación de Posgrado.



## 2. LABORATORIOS Y ÁREAS DE INVESTIGACIÓN EN LA CARRERA



### Laboratorio de Separaciones Químicas Sustentables

**INQUINOA (CONICET, UNT), Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, FACET, UNT**

La visión de investigación incluye tres aspectos principales:

- Desarrollo de nuevas tecnologías de separación sustentables basadas en membranas y adsorbentes.
- Desarrollo de la ingeniería de separación: métodos y técnicas para entender, diseñar, optimizar y operar procesos de separación/reacción.
- Avances de la ingeniería de separación enfocados a aplicaciones industriales, biotecnológicas y biomédicas.

Las áreas de investigación actuales están enmarcadas en Proyectos y Programas de investigación con diferentes fuentes de financiación y se describen brevemente como: (1) Desarrollo de procesos de separación innovadores para el reciclado de agua y gases para una economía circular en la agroindustria; (2) Desarrollo de membranas electroactivas en base a carbón renovable para aplicaciones químicas y biomédicas; (3) Sistemas de enriquecimiento de CO<sub>2</sub> para el mejoramiento de cultivos en invernaderos, hidroponía y agricultura de precisión. Los resultados que se obtienen en cada una de las líneas de investigación de este Laboratorio, proporcionan patentes de invención y publicaciones en revistas internacionales de revisión de pares de alto nivel.

En todas estas líneas existen proyectos de investigación con propuestas para realizar Tesis Doctorales en el Doctorado en Ciencias Exactas e Ingeniería de la FACET, UNT. *Para mayor información comunicarse a la dirección de email (aavila@herrera.unt.edu.ar).*

## 3. GUÍA DE TRÁMITES PARA ALUMNOS INSCRIPTOS EN EL DCEI

Les acercamos la descripción de los principales procesos administrativos de la carrera:

### 1) Sobre Informes de Avance y Actas de la Comisión de Supervisión de Tesis (CST):

A partir de la fecha de la Resolución de la FACET de aceptación de la Inscripción en el DCEI, el doctorando deberá presentar anualmente un Informe de Avance de Tesis a su CST, reportando sus actividades de investigación, los cursos de postgrado aprobados, pasantías y todo lo que considere pertinente al avance de su tesis.

La CST enviará por correo electrónico a la Comisión Académica (CA) de la carrera, el acta de aprobación de este informe, llamada Acta de Avance de Tesis\*, donde deberá constar un resumen del Informe, listarse las actividades académicas: cursos de postgrado aprobados por el doctorando y pasantías realizadas en el período informado y que la CST solicite convalidar al Consejo Directivo de la FACET. En el caso de curso aprobados se debe informar título, número de horas, nota y fecha de examen y disertantes.

Si se trata del primer Acta, se deberán agregar los cursos de postgrado aprobados con anterioridad a la fecha de la Resolución de Inscripción de la FACET, que la CST solicite convalidar.

Sólo deberán adjuntarse al Acta como documentación probatoria, copias de certificados de cursos aprobados y de pasantías realizadas.



## DOCTORADO EN CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN



Una vez que la CA de la carrera haya revisado el Acta y la documentación probatoria, indicará al tesista que envíe al Departamento de Postgrado la documentación.

(Si la Inscripción es posterior al 1/09/2023, la documentación se enviará a Mesa de Entradas y se cargará mediante sistema SUDOCU)

### **2) Sobre los Cursos de Postgrado**

Los Cursos de Postgrado deberán ser dictados por Profesores que posean título de Doctor, tener al menos un total de 20 horas. Si fueron dictados en UUNN, debe contar con el número de Resolución de aprobación de la universidad que lo dictó.

### **3) Sobre los certificados de aprobación de los Cursos de Postgrado:**

Deben figurar: el título y nombre del disertante, cantidad de horas, nota de aprobación y un resumen del programa (que suele estar al anverso del certificado). Si no figurara el programa, deberá adjuntarse un programa firmado por el profesor o instituto donde el curso fue tomado. Si fue dictado en una UUNN, debe figurar el número de Resolución de aprobación de la universidad que lo dictó.

Si estuvieran en un idioma distinto al español, deberá adjuntarse al mismo la traducción al castellano, realizada por un traductor matriculado.

Los certificados pueden ser físicos o virtuales. En el primer caso, las copias deberán ser autenticadas en el Departamento de Postgrado de la FACET, concurriendo con original y copia.

### **4) Sobre los certificados de pasantías:**

Deberán contener título del trabajo y tipo de actividad desarrollada, nombre y firma del tutor, cantidad de horas, fecha y nombre de la institución donde se llevó a cabo.

Si estuvieran en un idioma distinto al español, deberá adjuntarse al mismo la traducción al castellano, realizada por un traductor matriculado.

### **5) Sobre el Informe Final y Detalle Parcial de Materias:**

Cuando el doctorando haya terminado la redacción de su Tesis Doctoral y ésta se encuentre lista para ser distribuida a los Miembros del Jurado, se deberá presentar el Informe Final, el Detalle Parcial de Materias y del archivo de la Tesis completa en formato PDF.

El Informe Final\* tiene un modelo establecido y en esta etapa el doctorando ya deberá contar con las resoluciones de aprobación de todos los Informes de Avances donde consten la totalidad de las horas de actividades académicas requeridas por el DCEI (500).

En el Detalle Parcial de Materias\* debe figurar, además del nombre de los Cursos de Postgrado realizados, el número de la Resolución de la FACET que convalida el Acta de Avance de Tesis donde figura ese curso.

### **6) Sobre los tiempos para defender la Tesis Doctoral:**

A partir de la presentación del Informe Final, junto al Detalle Parcial de Materias y archivo PDF de la Tesis Doctoral, el tiempo estimado hasta la fecha de la defensa de la Tesis es de 2 meses (sumar períodos de vacaciones si corresponde) basado en que deben cumplirse las siguientes etapas:



## DOCTORADO EN CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN



- i) Propuesta de miembros del Jurado al Consejo de Postgrado de la FACET por parte de la Comisión Académica (2 semanas).
- ii) Resolución de designación del Jurado por parte de la Consejo Directivo (2 semanas).
- iii) Lectura y corrección de la tesis por parte del Jurado (mínimo un mes, por reglamento).
- iii) Pedido de autorización para llevar a cabo la defensa de la Tesis al Decano por parte de la Comisión Académica de la Carrera (1 semana)
- v) Resolución de la autorización de la defensa de la Tesis por parte del Decano (1 semana)

Para defender antes de abril de cada año, deberá realizar la solicitud de designación de jurados en el mes de octubre del año anterior (considerar que el CD de la FACET no suele reunirse en los meses de diciembre, enero y febrero).

### 7) Trámite para gestionar el título de doctorado:

Solicitar instrucciones en el Departamento de Postgrado de la FACET, o por email: [postgrado\\_facet@herrera.unt.edu.ar](mailto:postgrado_facet@herrera.unt.edu.ar).

En esta instancia el egresado debe solicitar a la CA de la carrera la firma del Detalle Final de Materias\* y la nota de solicitud de Diploma.

### 8) Recomendación:

Leer detenidamente el Reglamento del DCEI \* y el Reglamento de Postgrado de la UNT\*.

\* Ver en la sección Modelo de Nota útiles de nuestra página web

<https://www.facet.unt.edu.ar/posgrado/doctorado-en-ciencias-exactas-e-ingenieria/>

## 4. RESÚMENES DE LAS TESIS DEFENDIDAS DURANTE ESTE AÑO

**Tesista:** Ing. María Emilia Iñigo Martínez

**Director y co-director:** Dres. Alejandro Pablo Arena y Dora Paz

**Tema:** OPTIMIZACIÓN, ANÁLISIS MULTICRITERIO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL INTEGRAL DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL LIMÓN Y SUS DERIVADOS CON ENFOQUE DE CICLO DE VIDA EN ARGENTINA

**Resumen:** La producción de limón y sus subproductos representa una cadena de suministro de gran relevancia en Argentina, especialmente en la provincia de Tucumán, debido a su impacto significativo en la economía regional. Sin embargo, se enfrenta a desafíos como el aumento de las exigencias del mercado competitivo y la necesidad de minimizar los riesgos ambientales. Para abordar estos desafíos y promover una cadena de suministro más sustentable, se utilizan técnicas como el ACV y la optimización basada en criterios múltiples. A pesar de su relevancia, la aplicación de estas metodologías en Argentina y Sudamérica, especialmente en la producción de limón, es limitada. Los estudios existentes, en su mayoría realizados en otras regiones, se enfocan en minimizar los impactos ambientales y los costos, al tiempo que buscan maximizar la producción, o utilizan las metodologías de manera aislada.

El objetivo general de esta tesis doctoral es identificar los aspectos críticos de la cadena productiva del limón y sus derivados en Tucumán, y optimizar sus parámetros operativos para preservar los recursos naturales, garantizar la seguridad alimentaria y mejorar el acceso a los mercados, respondiendo a la demanda de productos



## DOCTORADO EN CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN



sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Este análisis servirá como modelo para extenderse a otras provincias de Argentina.

Se realizó una evaluación ambiental detallada de la producción de limón y sus derivados, identificando áreas críticas. La metodología comparó diferentes escenarios de producción y el uso de sistemas de cogeneración, especialmente con biomasa agrícola. Se realizó el diseño óptimo de producción y distribución, considerando aspectos económicos y ambientales, con el objetivo de maximizar las ganancias y minimizar los impactos ambientales.

Los resultados indican que los sistemas de cogeneración tienen menores impactos ambientales que la tecnología convencional. El modelo matemático de optimización permitió evaluar y mejorar la cadena de suministro de manera eficiente, facilitando decisiones informadas en un entorno empresarial dinámico. Finalmente, se sugieren prácticas sostenibles, como el uso de materiales biodegradables en el tratamiento de residuos agrícolas y la revalorización de los residuos.

**Tesista:** Lic. Franco D. Medina

**Director:** Dra. Ana G. Elias

**Tema:** FORZANTES NATURALES Y ANTROPOGÉNICOS DE LA VARIACIÓN A LARGO PLAZO DE LA PRECIPITACIÓN EXTREMA EN EL NOROESTE ARGENTINO

**Resumen:** En este trabajo se analiza la variabilidad interanual y de más largo plazo de la precipitación extrema en el Noroeste Argentino (NOA) en relación a forzantes naturales y antropogénicos. El principal foco de esta tesis fue sobre la intensidad de la precipitación diaria, medida a través de la precipitación máxima diaria (Rx1) anual y estacional, a la vez que se incluyeron otras métricas a modo complementario. Primero se realizó una caracterización espacio-temporal en el período 1982-2019 de 15 índices de precipitación relacionados a la intensidad, frecuencia y duración de la precipitación en la región utilizando datos diarios de lluvia medidos en estaciones meteorológicas y datos reticulados basados en estimaciones satelitales y mediciones in situ (CHIRPS). Luego, para obtener una perspectiva de más largo plazo, para el periodo 1911-2019 se realizó una caracterización de la precipitación máxima diaria (Rx1) y total (TOT) anuales y estacionales, utilizando la serie de precipitación diaria de mayor extensión temporal de la región. Con esta serie, se llevó a cabo un análisis exploratorio de la correlación de Rx1 y TOT con El Niño Oscilación del Sur (ENSO), Modo Anular del Sur (SAM), Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) como forzantes naturales, y con la concentración global de CO<sub>2</sub> (uno de los principales gases de efecto invernadero, GHG) y de O<sub>3</sub> polar atmosféricos. En base a los resultados del análisis exploratorio se avanzó en un análisis más profundo de la relación Rx1-ENSO y Rx1-SAM en escalas interanuales, moduladas en escalas multidecadales por PDO y AMO, mediante el análisis de correlaciones en múltiples ventanas temporales y proponiendo un enfoque basado en buscar la maximiza significancia estadística. Luego, para dar soporte físico y determinar la representatividad espacial de este análisis se determinaron los patrones de anomalías de Rx1 y de variables atmosféricas en la región Subtropical de Sudamérica para cada fase de ENSO y SAM bajo diferentes fases de PDO. Finalmente, con el fin de analizar la relación entre la precipitación y el aumento de GHG (relacionado al calentamiento global), se analizó el desempeño de modelos de la sexta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) para representar Rx1 y TOT estacionales y anuales y se analizaron las proyecciones hacia el futuro bajo dos escenarios de emisiones de GHG (uno intermedio y otro extremo). Los principales resultados muestran que la precipitación extrema en el NOA responde significativamente tanto a forzantes naturales (ENSO, SAM y PDO) como antropogénicos (aumento de GHG y posiblemente O<sub>3</sub> polar). Se determinó que la mayor intensidad de precipitación se observa bajo la fase cálida de PDO, donde la variabilidad interanual está relacionada a SAM, y, por otra parte, bajo el escenario de mayor calentamiento



## DOCTORADO EN CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN



global proyectado debido al aumento de GHG. En relación a este último forzante, las proyecciones hacia finales del siglo podrían implicar un aumento del riesgo de inundaciones en el verano y otoño, a su vez un aumento en el riesgo de ocurrencia de déficit hídricos en la primavera.

**Tesista:** Ing. María Emilse Araoz

**Director:** Dr. Adolfo Ávila

**Tema:** DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE MATERIALES COMO AGENTES DE SEPARACIÓN PARA LA AGROINDUSTRIA

**Resumen:** La transición desde una economía lineal hacia una economía circular requiere el desarrollo de procesos de separación que permitan la captura de especies químicas a fin de ser recicladas o reutilizadas en otros procesos. Las regiones agroindustriales y de agricultura intensiva generan enormes cantidades de residuos de biomasa. En general, estos materiales residuales son aprovechados energéticamente como combustibles. Sin embargo, resulta también de sumo interés su uso como materia prima renovable para la generación de agentes de separación novedosos. Los materiales carbonosos derivados de biomasa o de residuos de biomasa (biocarbón) pueden formar parte de diferentes aplicaciones relacionadas a la separación de gases, al tratamiento de agua, entre otras.

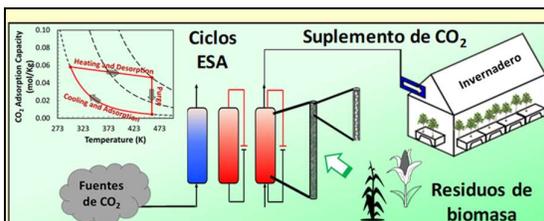
Esta tesis se enfocó en el estudio de materiales carbonosos (preparados en el laboratorio) que cuentan con propiedades eléctricas de interés tecnológico para explorar su aplicación en conceptos de separación emergentes. Estos materiales fueron fabricados con geometría tubular a partir de residuos agrícolas de cosecha (RAC) de caña de azúcar. Los tubos de biocarbón obtenidos son materiales estructurados con propiedades electroterómicas. En base a ello, estos materiales presentan un alto potencial para una variedad de aplicaciones tecnológicas. La caracterización de estos materiales se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis de energía dispersiva de rayos X (EDX) y microscopía Raman. Además, se evaluaron las isothermas de adsorción de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> puros mediante un sortómetro. Teniendo en cuenta tanto la capacidad de adsorción de CO<sub>2</sub> del material en conjunto con sus propiedades eléctricas, se estudió principalmente su aplicación en ciclos de adsorción y desorción electroterómica (ciclos ESA, Electric Swing Adsorption). La geometría tubular permitió su combinación con otros adsorbentes de mayor selectividad al CO<sub>2</sub> generando así adsorbentes estructurados híbridos con sinergia para la transferencia de calor y materia.

Una posible aplicación directa de los adsorbentes híbridos en ciclos ESA es el enriquecimiento de CO<sub>2</sub> en atmósferas de invernaderos. Se estudió esta aplicación usando tubos de biocarbón rellenos con zeolita 13X. En este caso, se analizaron ciclos ESA con gas de alimentación de baja concentración de CO<sub>2</sub> (1,0% CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>). Se realizó el diseño conceptual del proceso de enriquecimiento y control de CO<sub>2</sub> en atmósferas de cámaras de crecimiento de cultivos. A fin de avanzar hacia el escalamiento del proceso, el estudio se enfocó posteriormente hacia la aplicación de una columna de adsorción multitubular. En este caso, se priorizó el uso de adsorbentes económicos y de alta disponibilidad como ser los minerales silíceos naturales (tierra de diatomea). Se investigó el funcionamiento del arreglo multitubular en ciclos ESA para la separación de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, se demostró que los tubos electroactivos de biocarbón funcionan también como contactores de membrana para la desalinización de aguas con alto contenido salino. Las propiedades electroterómicas del material posibilitan su aplicación en procesos de destilación por membrana tanto continuos como discontinuos con calentamiento del fluido "in situ". Se alcanzaron producciones de agua y permeabilidades del mismo orden de aquellas reportadas para membranas comerciales, con rechazos de sal superiores al 99%. Los tubos de biocarbón electroactivos demostraron ser lo suficientemente versátiles para su aplicación en conceptos de separación emergentes tanto para corrientes gaseosas como líquidas provenientes de la agroindustria e industrias extractivas.



## 5. DIVULGACION CIENTÍFICA



### SISTEMA DE ENRIQUECIMIENTO DE CO<sub>2</sub> PARA INVERNADEROS, HIDROPONIA Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN QUE RECUPERA CO<sub>2</sub> LIBERADO EN LA AGROINDUSTRIA

El nivel de concentración de CO<sub>2</sub> es una variable de enorme importancia en el control de las condiciones atmosféricas del interior de invernaderos y cámaras de crecimiento. El mantenimiento de un nivel de enriquecimiento levemente superior de lo normal dentro de estas cámaras mejora el rendimiento y productividad de los cultivos. El desarrollo de un dispositivo que incluye un adsorbente estructurado en base a tubos electrotérmicos de biocarbón y zeolita 13X permite el control del nivel de CO<sub>2</sub> en valores óptimos dentro de invernaderos. El sistema recicla efluentes gaseosos de la agroindustria mediante la recuperación de CO<sub>2</sub> emitido para ser inyectado a cámaras de crecimiento. Este proceso aporta ventajas comparativas frente a otras soluciones en uso. Por ejemplo, permite la purificación del CO<sub>2</sub> respecto a la corriente gaseosa de origen. Además, se logra una controlabilidad efectiva del proceso sin perturbar otras variables del sistema mediante la liberación rápida de CO<sub>2</sub> enriquecido en volúmenes reducidos a través de una etapa electrotérmica. Este trabajo fue publicado recientemente en la revista *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Elsevier (Araoz, M.E., Madrid, R.E., Avila, A.M. Enriching and controlling the CO<sub>2</sub> concentration level in indoor farming through electroactive 13X-filled biocarbón tubular elements. ([J. Environ. Chem. Eng. 12 \(2024\) 112502.](#)) y fue parte de la tesis de doctorado defendida recientemente por María Emilse Araoz.