



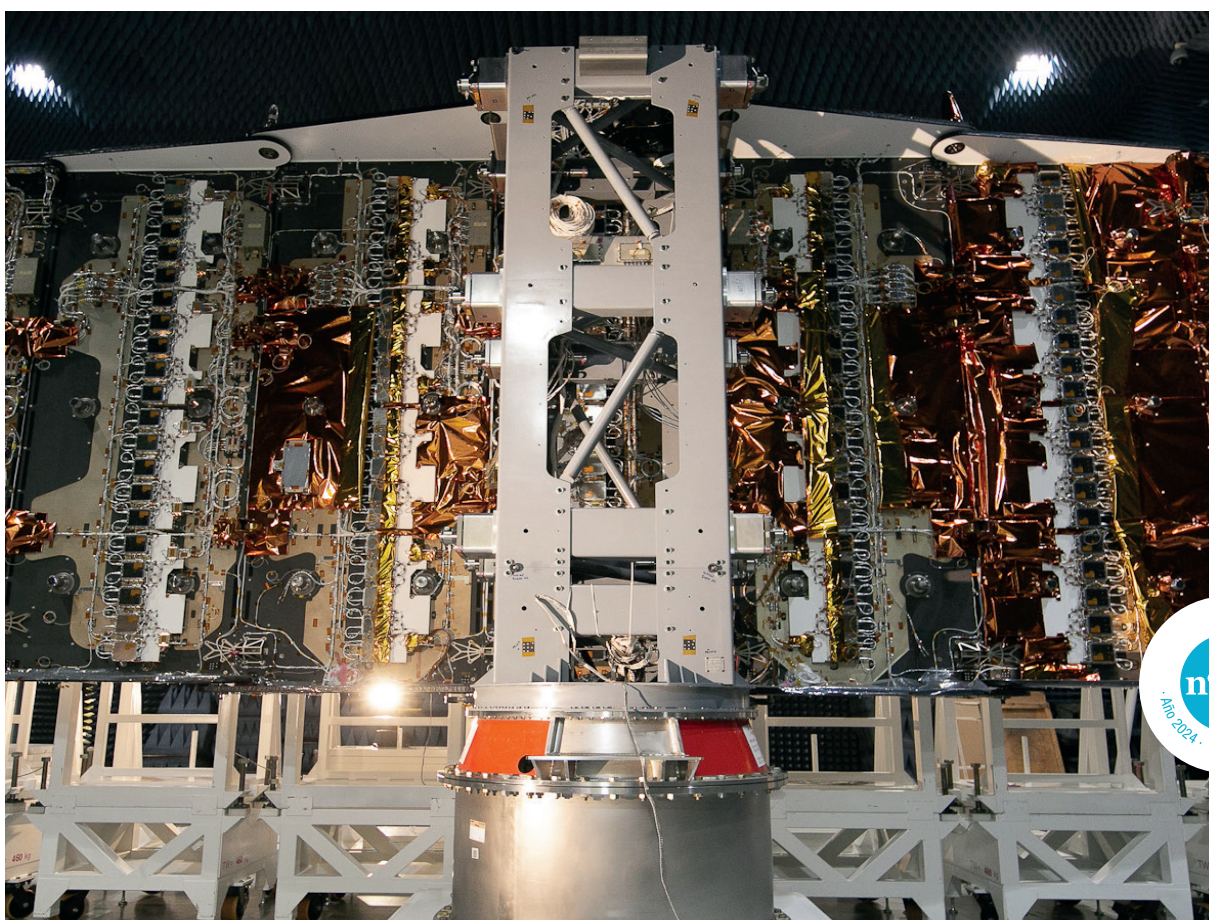
Ingeniería en órbita

**NUEVOS
MATERIALES
PARA NUEVOS
HORIZONTES**

**DISPOSITIVOS
PARA DETECTAR
RADIACIÓN
CÓSMICA**

**ÚLTIMOS
AVANCES EN LA
CARTOGRAFÍA
SATELITAL**

**REPENSANDO
LA ENERGÍA DE
PROPULSIÓN**



n.º 10

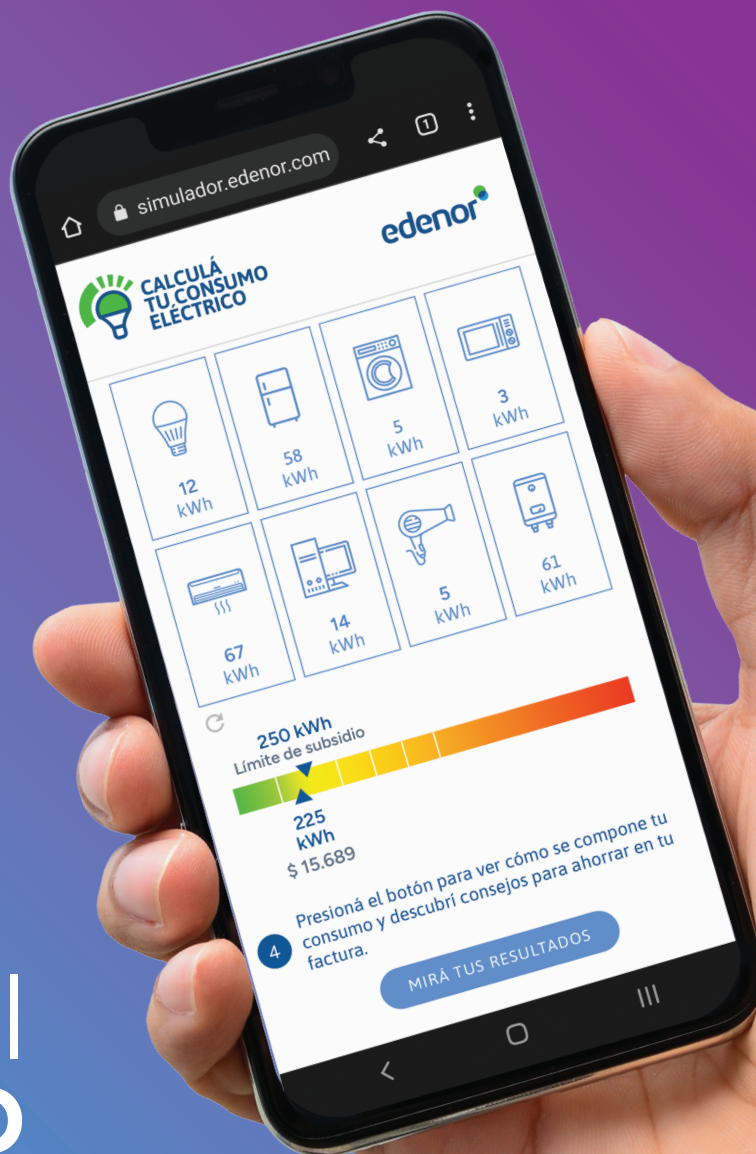
· Año 2024 ·



sumate al consumo eficiente

Ingresa en el **simulador** y conocé cuánta energía consumen tus electrodomésticos.

Disminuí tu consumo y ahorrá en tu factura.



simulador.edenor.com

edenor

SUMARIO

STAFF

Comité Editorial

Inga. Valeria Debandi
Dr. Ing. Sergio Lew
Ing. Lucas Macias

Coordinador editorial

Lic. Daniel Krupa

Equipo de producción

Diseño

DG Nadia Ricciardelli

Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Candelaria Mazzeo

Fotógrafo / Editor de Fotografía

DlyS Axel Rosito

Corrección

Bettina Villar

Asistente de producción

Marisol Rivera

Impresa en octubre de 2024.

Foto de tapa gentileza CONAE.

Revista *.ing* es una publicación distribuida por el sello Eudeba.

SSN 2545-7691

La reproducción parcial de los contenidos de esta publicación deberá ser autorizada previamente por su Comité Editorial.

Contacto

Av. Paseo Colón 850 - CABA
C1063ACV - Argentina
comunicacion@fi.uba.ar

www.ingenieria.uba.ar

f X @in /ingenieriauba
/FIUBAoficial

EDITORIAL

Nuevos horizontes,
nuevos desafíos

04

BREVES

INGENIERÍA EN ÓRBITA

Colaborar con Ingeniería / Grupo
IngenIA UBA / Congreso Internacional
de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica y
Automatización / Cursos de posgrado

05

Nuevos materiales para nuevos
horizontes

06 | 09

INGENIERÍA EN ÓRBITA

Dispositivos para detectar
radiación cósmica

10 | 13

INGENIERÍA EN ÓRBITA

Últimos avances en la
cartografía satelital

14 | 17

INGENIERÍA EN ÓRBITA

Repensando la energía
de propulsión

18 | 20

zoom

Canal de Experiencias de Arqui-
tectura Naval

22 | 23

DOSSIER

Procesando imágenes para ver lo
invisible. El método SUPPOSE

24 | 31

NUESTROS GRADUADOS

Ingeniería sobre ruedas
Ing. Carlos Nerini

32 | 33

PROTAGONISTAS DE LA FIUBA

De libros, revistas y plataformas
Lic. Ana María Martínez

34

Nº 10

Nuevos horizontes, nuevos desafíos



El ser humano viene desarrollando la actividad aeroespacial desde hace muchas décadas. Esos primeros pasos fueron dados por grandes inventores y emprendedores que más tarde, empujados por los gobiernos y sus correspondientes agencias o entes gubernamentales, lograron la conquista del espacio por el hombre a través de grandes inversiones y experiencias.

Hoy, nos encontramos en un nuevo escenario en el marco del llamado “Nuevo Espacio”, al que nos han llevado los extraordinarios avances tecnológicos propios de la actividad y de la ciencia y la tecnología en general. Nuevos desafíos enfrenta el ser humano, nuevas aplicaciones y negocios afloran en el horizonte en una actividad propiamente tan multidisciplinaria como lo son sus aplicaciones.

El “Nuevo Espacio” guarda como una de sus principales características la incorporación del sector privado a esta actividad reservada históricamente al sector público. Se llegó a este a través de tecnologías habilitantes como:

- Uso de componentes *Commercial Off-The-Shelf* (COTS). Principalmente usados en los pequeños satélites adaptando componentes comerciales y relajando controles de calidad.
- La construcción de pequeños satélites, CubeSats, que normalmente pueden tener dimensiones tales como 20/30 centímetros de lado.
- Lanzamientos más económicos, en donde se está trabajando en la línea de recuperar los lanzadores. Empresas como Space-X están en esta tarea. Esto lleva a la posibilidad de poner en órbita muchos más objetos y por ende también lleva al problema de la chatarra espacial.
- Vuelos en formación de varios satélites en los que cada uno cumple parte de una misión para lo cual es clave la comunicación y coordinación entre ellos.

Aplicaciones históricas y nuevas aparecen en el nuevo escenario de negocios aeroespaciales como: acceso al espacio, ciencia espacial (exploración espacial), defensa

y seguridad, observación de la Tierra, comunicaciones, sistema global de navegación por satélite (GNSS, por sus siglas en inglés), investigación bajo condiciones espaciales, misiones robóticas, turismo espacial, construcción de infraestructuras de servicios espaciales, desarrollo de *upstream & downstream* privados y sinergias en la interacción con otros sectores.

En esta nueva edición de nuestra revista *.ing* presentamos algunas de las tecnologías utilizadas, tanto para la construcción de un satélite como para implementar sus aplicaciones.

Desde el año 2023, tenemos en la FIUBA la Carrera de Industria y Sistemas Aeroespaciales, que dictamos en conjunto con la Comisión Nacional Aeroespacial (CONAE) e INVAP; una asociación virtuosa entre universidad, agencia del sistema científico tecnológico y empresa en un país con liderazgo sobre la temática de construcción de satélites de distintos tipos y de acceso al espacio con altísimo impacto en la formación de profesionales en la región. Quienes egresen de la Carrera de Especialización en Industria y Sistemas Aeroespaciales tendrán la formación necesaria para gestionar proyectos espaciales complejos en instituciones tecnológicas, agencias espaciales o en empresas del sector.

Los y las invito a hacerse del conocimiento que publicamos en este número, a compartirlo y difundir tanto nuestra propuesta académica como las actividades que desarrollamos en el Vector de Industria Aeroespacial / Aplicaciones Satelitales, parte de nuestro Proyecto Vectores, mientras continuamos con la tarea de seguir formando ingenieros e ingenieras.

Ing. Alejandro M. Martínez

Decano de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Buenos Aires

Foto: gentileza CETEC

01

Colaborar con Ingeniería

La Facultad de Ingeniería de la UBA lanzó un programa de financiamiento de proyectos denominado "Colaborar con Ingeniería" para recibir donaciones con el objetivo de acompañar la formación de futuros/as profesionales con un alto nivel académico.

Actualmente, se encuentran estos proyectos, entre otros, que pueden recibir colaboración: "Centro de Innovación en Ingeniería de Alto Nivel de la UBA"; "Aula inmersiva"; "Aulas 3.0", "Gimnasio" y "Programa de Becas".

Conocé más en [https:// www.ingenieria.uba.ar/colaborar-con-ingenieria](https://www.ingenieria.uba.ar/colaborar-con-ingenieria)

La FIUBA creó el Grupo de Ingeniería en Inteligencia Artificial (IngenIA-UBA) para implementar proyectos de IA desde su diseño hasta su despliegue en entornos industriales y académicos, así como asesorar a estudiantes en proyectos de investigación aplicados a la inteligencia artificial, entre otros objetivos. Consultas: ingenia@fi.uba.ar

Grupo IngenIA UBA

02

03

Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica y Automatización

Del 14 al 16 de mayo de 2025, en Montería, Córdoba (Colombia), se llevará a cabo el XII Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica y Automatización, donde profesionales, estudiantes, académicos e investigadores tendrán la oportunidad de compartir experiencias y contribuir al avance de la divulgación científica.

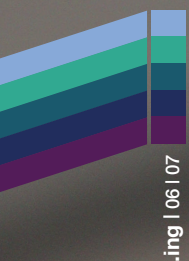
Para más datos, ingresar en <https://ingenieria.unal.edu.co/CIMM/>

04

Cursos de posgrado

Ya están disponibles los cursos de posgrado que se van a dictar en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires en 2025, como "Modelado 3D", "Energía Nuclear" e "Inteligencia Artificial: aplicaciones para la gestión empresarial".

Toda la información en <https://www.fi.uba.ar/posgrado>



INGENIERÍA
EN ÓRBITA



Nuevos materiales para nuevos horizontes

En esta nota, el **Dr. Hernán Svoboda** brinda detalles sobre cómo impactan las líneas de investigación del Grupo de Tecnología de la Soldadura y Comportamiento Mecánico de Materiales Metálicos en la industria aeroespacial argentina.

Las aleaciones de aluminio se emplean ampliamente para elementos estructurales en aplicaciones aeroespaciales. La unión rígida de estos materiales fue un desafío constante hasta la invención del proceso de soldadura por fricción y agitación. En este contexto, el Grupo de Tecnología de la Soldadura y Comportamiento Mecánico de Materiales Metálicos de la Facultad de Ingeniería de la UBA ha estado trabajando en el estudio de este proceso en sus diversas variantes, aplicado a diferentes elementos, analizando las relaciones entre las variables: proceso-microestructura-propiedades mecánicas.

“El desarrollo de herramientas, el estudio del efecto de diversos parámetros de proceso sobre uniones similares y disímiles, el desarrollo de modelos numéricos, entre otros aspectos, nos permiten alcanzar una mejor comprensión de los fenómenos involucrados”, afirma el Dr. Hernán Svoboda, al frente de estas líneas de investigación.

Las carcasas de motores de combustible sólido son un componente estructural crítico que suele fabricarse por construcción soldada en materiales de ultraalta resistencia como aceros maraging. Este material también se utiliza en aeronaves, en aplicaciones como trenes de aterrizaje u otras que requieran un material con alta relación resistencia-peso. “En nuestro grupo de investigación trabajamos en el desarrollo de procesos de soldadura avanzados para la fabricación local de estos componentes, estudiando la evolución del material en el contexto de la aplicación de procesos de soldadura por fusión. El efecto de la soldadura sobre la microestructura, los defectos y las propiedades mecánicas finales son algunos de los aspectos que abordamos en esta línea de trabajo”, explica Svoboda.

En los últimos años, el desarrollo de nuevos procesos de fabricación aditiva ha revolucionado la producción de diversos componentes, con especial impacto en la industria aeroespacial. En particular, para el caso de materiales metálicos, procesos como los de fusión de cama de polvo y deposición directa de energía se utilizan para la obtención de partes empleando diversas aleaciones. “Una de nuestras principales líneas de investigación es el estudio de diferentes procesos utilizados en aleaciones metálicas para su uso en aplicaciones aeroespaciales. Aceros inoxidables, aleaciones de aluminio, aleaciones base níquel y base cobre obtenidas por procesos como manufactura aditiva por arco eléctrico con alambre, fusión selectiva por láser o deposición metálica por láser, son algunas de las tecnologías que venimos estudiando”.

El Dr. Hernán Svoboda –que inició sus actividades científicas en la FIUBA en 1998– es ingeniero mecánico de la Universidad de Buenos Aires (UBA), doctor de la UBA Área Ingeniería, Profesor Adjunto e Investigador Independiente de CONICET. En los últimos 25 años ha venido desarrollado su actividad como investigador en el área de Procesamiento de Materiales Metálicos, especialmente en relación a la Tecnología de la Soldadura, abordando temáticas relacionadas al estudio de las relaciones entre procesos, estructuras y propiedades. Ha presentado y publicado más de 350 trabajos en congresos nacionales e internacionales y publicado más de 75 artículos en revistas especializadas.

A su vez, Svoboda supo desplegar una fuerte interacción con la industria, generando diversas actividades de transferencia. Ha formado numerosos recursos humanos (becarios, tesis)

Página anterior:
Componente obtenido
por manufactura aditiva
de acero inoxidable.

de grado y doctorado) y ha dirigido diversos proyectos de investigación. Asimismo, viene desarrollando actividad docente y de investigación en múltiples universidades e institutos, dictando cursos, charlas y conferencias relativas a su área de actuación. En la FIUBA se lo reconoce como uno de los últimos directores del Departamento de Ing. Mecánica. Actualmente, es vicedirector del Instituto de Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería (INTECIN), donde dirige también el Grupo de Tecnología de la Soldadura y Comportamiento Mecánico de Materiales Metálicos.

En lo que respecta al trabajo cotidiano de investigación, Svoboda señala que “en general se plantea un problema o preguntas para resolver. Esto puede estar relacionado con una aplicación específica, por ejemplo podría ser la necesidad de producir un componente que debe cumplir ciertos requerimientos. Ahí aparecen materiales, procesos de fabricación, propiedades requeridas, entre otros. Básicamente, nuestro objetivo radica en tratar de comprender las relaciones entre las variables de los procesos de fabricación estudiados sobre lo que le sucede al material analizado y cómo esto afecta a las propiedades finales que puedo esperar de un componente fabricado con

estos procesos. Para esto, tenemos como bloques de trabajo la aplicación de un proceso a un material dado, la caracterización del resultado generado en relación a como cambió el material, la determinación de las propiedades que ese material tiene luego de procesado, el análisis de los resultados y la simulación del comportamiento observado mediante técnicas numéricas o físicas”.

La transferencia de conocimientos desde cualquier grupo de investigación siempre funciona como una consigna central para la actividad científica. En ese sentido, Svoboda detalla las numerosas actividades de transferencia de conocimiento, como charlas de difusión, servicios, proyectos de investigación y desarrollo, capacitaciones, consultorías, entre otros. “Tenemos una fuerte convicción sobre este tema y diversas actividades realizadas en relación a este aspecto. La mayoría de nuestras actividades se llevan a cabo en permanente interacción con otros organismos, como el desarrollo de proyectos aeroespaciales para desarrollo de componentes estructurales soldados para vectores de combustible sólido, junto al Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF). O la posibilidad de transferencia de conocimientos y asistencia en soldadura FSW para lanzadores satelitales, para la empresa Veng, dedicada a la fabricación y desarrollos tecnológicos de alto valor agregado, en la actividad espacial. También trabajamos en la conformación de la red de manufactura aditiva en metales para lo que era el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, ahora devenido en secretaría. Digamos que permanentemente buscamos la interacción con actores del ámbito privado y público del sector aeroespacial. Por supuesto, también buscamos interactuar con otros grupos dentro de la misma FIUBA”.

“Aceros inoxidables, aleaciones de aluminio, aleaciones base níquel y base cobre obtenidas por procesos como manufactura aditiva por arco eléctrico con alambre, fusión selectiva por láser o deposición metálica por láser, son algunas de las tecnologías que venimos estudiando”.



Microdurómetro
Vickers

¿Cómo está compuesto el grupo de investigación que dirige Svoboda? “Si bien nuestro grupo tiene una base fija –explica–, la realidad es que es bastante dinámica la conformación del grupo, ya que además de investigadores y técnicos, muchas de las actividades se llevan a cabo en el marco de pasantías, trabajos finales de grado o tesis de posgrado (especialización, maestría, doctorado o posdoctorado), cuya duración varía entre tres meses y cinco años. Hoy, somos tres investigadores, un profesional y un técnico de apoyo, dos tesis doctorales y unos diez estudiantes de grado. A esto hay que sumar colaboradores o tesis compartidos en el marco de una red de colaboración nacional, que suman muchas más



capacidades. En cuanto a los perfiles, mayormente ingenieros mecánicos, ingenieros metalúrgicos o en materiales, con algunos otros perfiles como, ingenieros electrónicos o diseñadores industriales. Asimismo, me preocupa que la degradación de los salarios y las condiciones laborales que se ha dado en el último tiempo, haga que perdamos recursos humanos valiosos que ha llevado mucho tiempo formar. De la misma manera, el interés de los estudiantes hacia este tipo de actividades también considero que se verá seguramente afectado”.

Las formas de financiamiento con las que cuenta el grupo habitualmente están asociadas a proyectos de investigación y desarrollo que pueden provenir de distintas fuentes. En principio, de alguno de los actores del sistema científico-tecnológico nacional (universidad, agencia, CONICET u otros). Por otro lado, proyectos del sector privado que pueden tener diversos alcances desde alguna caracterización básica hasta proyectos de mayor plazo y complejidad. Finalmente, proyectos de cooperación internacional son también una fuente de financiamiento a la que suelen recurrir.

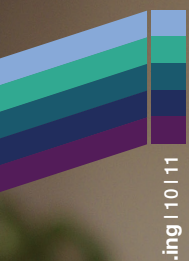
En la coyuntura actual de financiamiento, Svoboda afirma que “el sector público de actividades de ciencia y tecnología se está viendo sumamente afectado, estando prácticamente paralizado, lo cual nos preocupa sobremanera. A la fecha, contamos con recursos de proyectos en ejecución de años anteriores, así como fondos provenientes del sector privado y de proyectos internacionales”. En ese aspecto, en el ámbito de las aplicaciones aeroespaciales, históricamente ha sido casi exclusivamente asociado a actividades del sector público.



Arriba: Brazo robótico para soldadura/manufactura aditiva de materiales metálicos

Abajo: Parte del equipo de trabajo: Fabián Stilo (izq.), Mercedes Duran (centro), Hernán Svoboda (der.)

Sin embargo, este científico y docente de la FIUBA explica que, en los últimos años, a partir de lo que se conoce como *New Space*, se han abierto numerosas oportunidades para el desarrollo del sector privado en esta área y que en la actualidad ocupa un lugar de gran relevancia. “De todas maneras, considero que las políticas públicas son fundamentales para promover el desarrollo de diversos sectores, en particular el sector aeroespacial. La formación de recursos humanos especializados, el financiamiento de equipamiento e infraestructuras de elevado costo, la promoción de la conformación de clusters público-privados, créditos blandos para el acceso de empresas a inversiones en el sector y el desarrollo de empresas de base tecnológica son algunos de los aspectos clave. Más allá del financiamiento, es fundamental el desarrollo de políticas que favorezcan una mayor interacción entre el mundo del conocimiento y el mundo empresarial”, sostiene el Dr. Hernán Svoboda. ■



INGENIERÍA
EN ÓRBITA



Dispositivos para detectar radiación cósmica

En esta nota, el **Dr. Ing. Sebastián Carbonetto** le cuenta a *.ing* el trabajo que desarrollan en el Laboratorio de Física de Dispositivos-Microelectrónica (LFDM), del que forma parte hace más de 15 años.

Sebastián Carbonetto es ingeniero electrónico y doctor de la Universidad de Buenos Aires (UBA), Área Ingeniería. Es investigador adjunto en el CONICET y docente en la carrera de grado de Ingeniería Electrónica en la FIUBA y en la Maestría en Microelectrónica. Inició sus actividades científicas en 2008, mientras era estudiante de grado, cuando ingresó al Laboratorio de Física de Dispositivos-Microelectrónica (LFDM) luego de postularse a la Beca Estímulo UBACyT y, desde entonces, forma parte de este laboratorio.

Su principal línea de investigación es el estudio del efecto de la radiación ionizante sobre dispositivos de tecnología MOS (por sus siglas *Metal-Oxide-Semiconductor*). Estos son elementos fundamentales de cualquier circuito electrónico, incluidos aquellos de la industria espacial, como los satélites. “El espacio es un ambiente donde existe radiación ionizante y, por lo tanto, cualquier circuito electrónico que forme parte de un sistema aeroespacial será afectado por la radiación presente en ese ambiente y, se puede dar la degradación de estos sistemas electrónicos impactando en su funcionamiento. Por lo tanto, saber y entender cómo los dispositivos son afectados por la radiación tiene una doble faceta: por un lado, poder diseñar un circuito y predecir cómo será afectado para asegurar su correcto

funcionamiento durante las misiones espaciales y, por el otro, el desarrollo de sensores y sus sistemas de medición”, afirma Carbonetto y agrega: “En el laboratorio nos enfocamos principalmente en esta segunda faceta: caracterizamos los efectos de la radiación sobre los transistores MOS con el fin de aprovecharlos para su uso como sensores”.

La labor más habitual en el LFDM implica la medición de distintos lotes de transistores MOS y el seguimiento del cambio de sus parámetros característicos cuando son irradiados con radiación ionizante. En relación a esto, el investigador aclara que “este trabajo experimental es de una complejidad significativa, ya que implica una caracterización eléctrica de los dispositivos, el acceso a fuentes de radiación para realizar las exposiciones y, como los efectos en los dispositivos son dinámicos y dependientes de diferentes parámetros ambientales, cada uno requiere un seguimiento de sus características y parámetros luego de la irradiación, considerando, por ejemplo, distintas condiciones de temperatura del ambiente, así como las tensiones y corrientes aplicadas a cada transistor individual”.

“El instrumento que utilizamos para las mediciones durante la irradiación de los dispositivos para su caracterización ha sido desarrollado

Página anterior:
El Dr. Ing. Sebastián
Carbonetto

“El instrumento que utilizamos para las mediciones durante la irradiación de los dispositivos para su caracterización ha sido desarrollado en el laboratorio, debido a las características específicas que debe satisfacer”.

en el laboratorio, debido a las características específicas que debe satisfacer. También se han diseñado prototipos de instrumentos con distintas funcionalidades para su uso en aplicaciones médicas de radioterapia. A su vez, en este momento hay proyectos de desarrollo del instrumento necesario para el uso de nuestros dispositivos sensores en satélites y también para usar los sensores en pacientes de tratamientos médicos”, menciona Carbonetto, al tiempo que destaca que cada contexto de aplicación tiene especificaciones diferentes, por lo que el mismo sistema sensor-instrumento que puede ser útil para una aplicación médica, no tiene por qué serlo para la aplicación aeroespacial, y cada caso requiere un diseño particular.

Además del equipamiento habitual, como electrómetros, fuentes de corriente programable, medidores vectoriales de impedancia, adquirentes de datos portátiles, osciloscopios y generadores de pulsos y señales dependientes del tiempo, en el laboratorio cuentan con una estación de examinación (*Probe Station*) con micromanipuladores para las conexiones eléctricas en dies o wafers de silicio donde se fabrican los dispositivos -que se conecta a distintos instrumentos de medición para realizar caracterización eléctrica de los dispositivos fabricados en silicio-; una estación para soldaduras micrométricas (*Wire Bonder*) con hilos de oro que permite conectar eléctricamente los dies de silicio con algún tipo de encapsulado y una impresora 3D que se utiliza, entre otras cosas, para diseñar estos encapsulados.

El Laboratorio de Física de Semiconductores-Microelectrónica, ubicado en la sede de Av. Paseo Colón, interactúa con diversos espacios de investigación. Es así que forma parte del Instituto de Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería "Hilario Fernández Long" (INTECIN), que depende de

UBA-CONICET, y, en ese marco, participó de un proyecto de sensores químicos para determinar niveles de contaminación atmosférica junto con otros grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería de la UBA.

En cuanto al vínculo con organismos públicos, en este momento están cooperando junto a CONAE para el desarrollo de un sistema de medición de dosis que incluye la calibración de los dispositivos sensores y también la implementación del instrumental para medición en satélites. A su vez, se encuentra en curso una línea de investigación en la que se busca la calibración de sensores, pero en este caso para aplicaciones médicas, para lo cual hace unos años hubo un convenio con el Hospital Roffo y CONICET bajo un Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTTS-0359) y esperan avanzar pronto en un nuevo convenio que le dé fluidez a dicha línea de trabajo.

Por otra parte, el ingeniero electrónico destaca: “En cuanto al sector privado, siempre estamos atentos a poder aportar nuestro conocimiento a la industria. El laboratorio tiene habilitado un Servicio Tecnológico de Alto Nivel (STAN) en CONICET y hace varios años que se brinda un servicio de consultoría y de ensayos de radiación, que en particular se ha brindado para componentes electrónicos para el desarrollo de pequeños satélites. Si bien se ha logrado articular con el sector privado y con otros organismos, una de las metas del LFDM es fortalecer y formalizar este tipo de vinculaciones y lograr una mayor transferencia tecnológica hacia la industria”.

En el laboratorio, además de los investigadores, hay estudiantes de grado, especialmente de la carrera de ingeniería electrónica y de licenciatura en física, ya que se fomenta tanto su participación como la de quienes egresan para que

continúen sus estudios de Doctorado, aunque Carbonetto menciona que esto resulta cada vez más difícil, ya que las posibilidades económicas que pueden ofrecerse no se equiparan a las del sector privado, a donde muchos jóvenes migran para desarrollarse profesionalmente, antes que iniciar una carrera científico-académica.

Y, siguiendo esta línea, analiza: “Yo veo dos grandes problemas en la academia, en particular en la FIUBA, que es donde me desempeño. Uno de ellos es la infraestructura, el financiamiento y el acceso a tecnología. Es impresionante lo que se logra hacer con la infraestructura limitada que existe. La cantidad y calidad de instrumentos de medición no acompañan a las exigencias de la labor experimental necesarias para llevar la investigación hacia la excelencia. Es muy difícil por el nivel de subsidios de los proyectos de investigación equipar un laboratorio con instrumentos de última tecnología que requieren financiamiento de miles y miles de dólares. El otro problema es la dificultad para mantener a los jóvenes y que

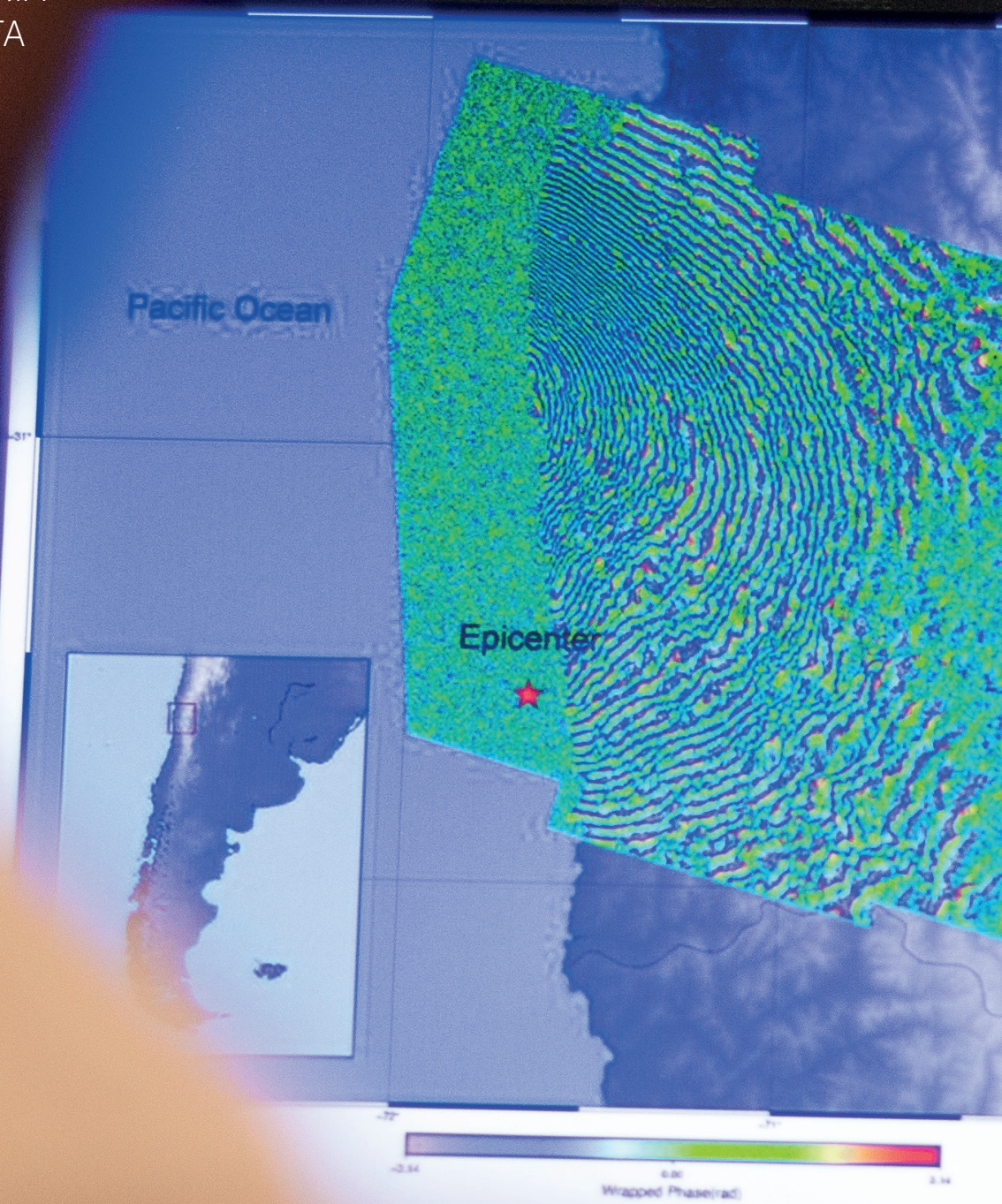
se formen como investigadores. Es muy difícil seducir a un estudiante que se recibe haciendo una tesis de grado en algún laboratorio de la facultad para que continúe una carrera académica con dedicación exclusiva, fundamentalmente por el sueldo de los investigadores y los montos de las becas, a pesar de la vocación científica o docente que el egresado pueda manifestar. Hoy, un estudiante que no se recibió y que trabaja en una buena empresa tiene un sueldo similar al de un investigador con doctorado con 10 años de antigüedad. De esta forma, los grupos de investigación se están vaciando, no sólo porque no ingresa gente nueva, sino también porque este contexto hace que, en ocasiones, personas ya formadas y con experiencia elijan otros caminos”. Como conclusión, Carbonetto enfatiza: “En gran medida, el problema es presupuestario: tanto para poder mejorar los laboratorios y mejorar la calidad de la investigación, como para que los jóvenes estén incentivados en seguir una carrera de investigación hecha en la universidad”. ■

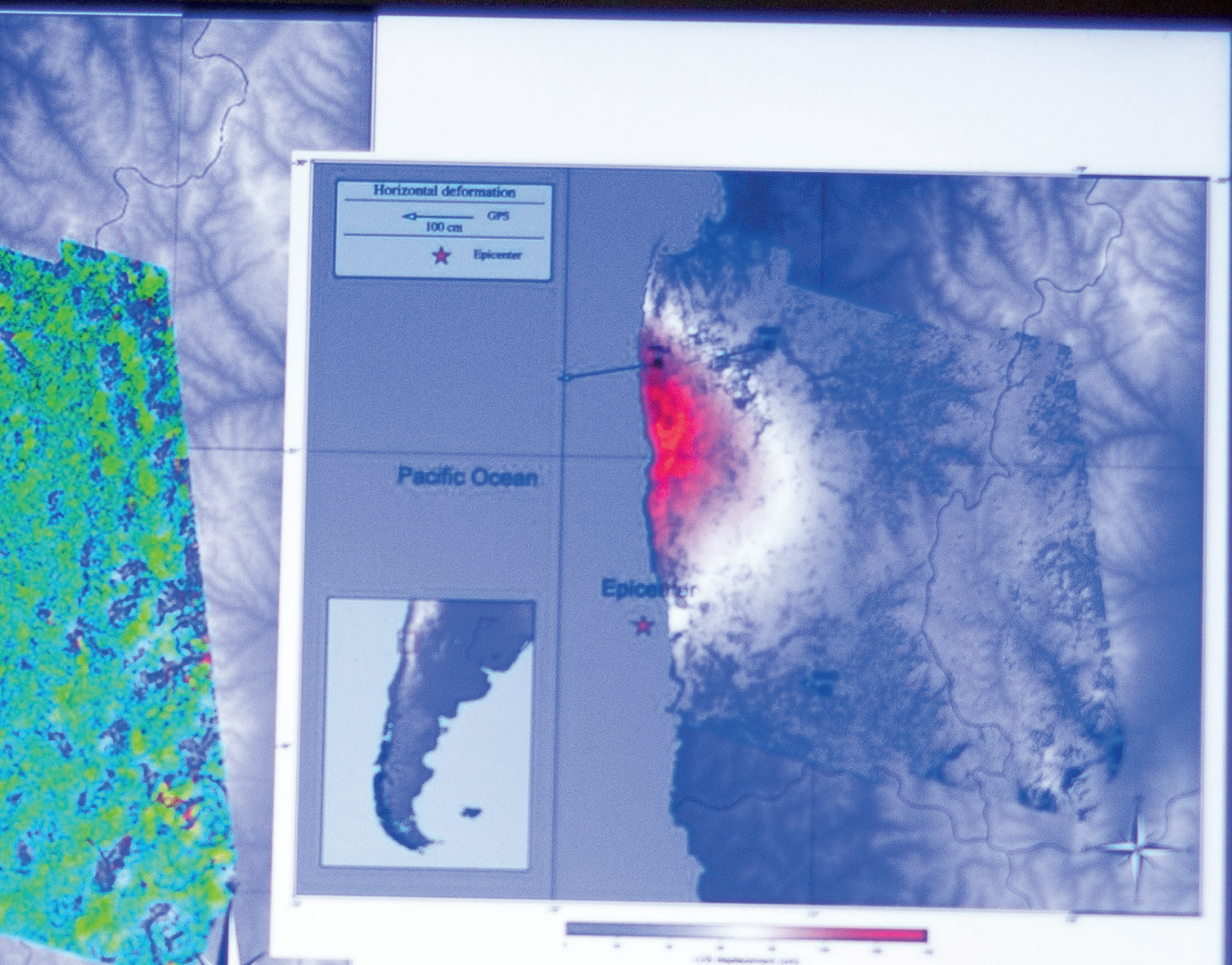


Somos la empresa de la UBA dedicada a la gestión y desarrollo de proyectos de innovación científico-tecnológica. El punto de encuentro entre la comunidad científica y el sector productivo.

- Gestión de servicios
- Administración de proyectos
- Gestión de eventos científicos
- Búsqueda de financiamiento
- Formulación de proyectos
- Valorización de I + D
- Ubatec CATI







Últimos avances en la cartografía satelital

En este artículo ^(*), el **Dr. Ing. Agrim. Sebastián Balbarani**, perteneciente al Departamento de Agrimensura, explica el potencial de las constelaciones de satélites de imágenes, que permiten la cuantificación de cambios en el territorio y sus elementos, sean naturales o artificiales.

(*) Artículo publicado en diciembre de 2023 en el cuadernillo Industria Aeroespacial / Aplicaciones satelitales, en el marco del "Proyecto Vectores".

Cuando hablamos de imágenes satelitales, muchas veces nos imaginamos aquellas que brindan las plataformas globales de cartografía digital, tales como Google Maps, Bing Maps o Here WeGo. Estas son imágenes ópticas, muy similares a las fotografías tradicionales que capturamos con nuestros celulares. Sin embargo, existe otro tipo de imágenes de satélite que recaban información complementaria, precisa y veraz, tal es el caso de las imágenes de radar.

La tecnología de Radar de Apertura Sintética (SAR, por sus siglas en inglés) permite obtener imágenes de alta y media resolución, independientemente de la presencia de radiación solar y de las condiciones atmosféricas (nubes, lluvias, tormentas) al momento de la captura. Esto se debe a que el SAR es un instrumento activo, que tiene la capacidad de generar su propia señal. Además, la energía que genera opera en el rango de las microondas, con longitudes de onda que van desde el centímetro al metro, siendo por ello insensible a casi todos los componentes atmosféricos.

La tecnología SAR posee un amplio rango de aplicaciones de uso en ciencias de la Tierra, cambio climático y medioambiente. Actualmente, existen misiones satelitales con este tipo de instrumento (SAR), cada una de las cuales se caracteriza por los parámetros del sensor, tales como: la frecuencia central, los modos de adquisición y la polarización de la señal.

Las imágenes SAR poseen un enorme potencial para la observación de los suelos, los mares y la atmósfera, así como de los fenómenos que allí ocurren. Si bien esta tecnología nace a mediados del siglo pasado, fue recién en 1978 que se envió el primer satélite con un radar de apertura



Dr. Ing. Agrim. Sebastián Balbarani

“Estas imágenes generan un volumen masivo de datos complejos (*big data*) que requieren de técnicas de procesamiento no tradicionales para la extracción de información”.

sintética, el llamado SeaSAT, una misión de la NASA para estudiar los océanos, que duró apenas 105 días. Más aún, las primeras misiones satelitales consolidadas con un instrumento SAR surgen a principio de los 90 (ERS, Radar-Sat).

Argentina se encuentra a la vanguardia en materia de tecnología SAR, llevando la bandera de la misión SAOCOM (Satélite Argentino de Observación con Microondas) de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Está compuesta por el satélite SAOCOM-1A (lanzado en octubre de 2018) y el SAOCOM-1B (lanzado en agosto de 2020). Ambos satélites operan en la banda L, y fueron íntegramente desarrollados en nuestro país, con la participación de empresas públicas y privadas, universidades e institutos de investigación.

La pregunta que surge es: ¿para qué se utilizan los datos adquiridos por un radar de apertura sintética? Estas imágenes generan un volumen masivo de datos complejos (*big data*) que requieren de técnicas de procesamiento no tradicionales para la extracción de información. La

inteligencia aplicada sobre los datos de satélite a partir de modelos estadísticos y técnicas de autoaprendizaje (inteligencia artificial) permiten efectuar análisis descriptivos y predictivos, seguimiento de fenómenos y estudio de modelos de negocios, para la correcta toma de decisiones.

En particular, en el área de topografía y geodesia, existe una técnica denominada Interferometría de Radar de Apertura Sintética (InSAR), que explota la diferencia de fase entre dos imágenes adquiridas sobre una misma región, para generar modelos digitales de elevación (DEM), con precisiones comparables a la de los sistemas ópticos de teledetección. La técnica tiene gran utilidad en hidrología, geología, agrimensura y otros campos de aplicación.

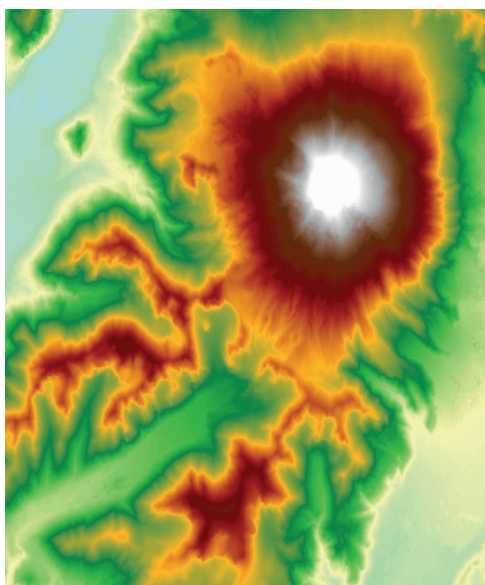
Una variante de la técnica InSAR, es la denominada Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR), la cual permite una solución aún más interesante: medir la deformación de la superficie del suelo con precisiones milimétricas. Si entre dos pasadas sucesivas del sensor, existió un desplazamiento del terreno producto de un sismo, terremoto, extracción o inyección de fluidos en el subsuelo o por actividad volcánica, la técnica permite medir estos movimientos relativos.

Y un paso más adelante, es cuando se dispone de un conjunto numeroso de imágenes SAR sobre la misma zona. En este caso, mediante la aplicación de técnicas multitemporales, es posible combinar las soluciones individuales DInSAR, y obtener una serie histórica de deformación para cada punto coherente de la imagen y para el lapso de tiempo que cubren las escenas. La solución permite integrar el resultado en un mapa de velocidad de deformación. Esta técnica posee una capacidad innovadora como un mecanismo remoto complementario para el monitoreo de infraestructura crítica (represas, edificios, puentes) y en la planificación, ejecución y seguimiento de obras de ingeniería compleja.

Resumiendo, la Interferometría SAR puede considerarse una técnica avanzada de procesamiento de imágenes de radar, que permite dar soluciones en sectores como: topografía, geodesia y geofísica, minería, petróleo y gas, agricultura, infraestructura crítica, obras de ingeniería, riesgos naturales y antrópicos, alertas y emergencias.

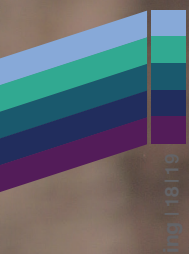


Arriba: Teodolito de tránsito antiguo, último cuarto del siglo XIX.



Izquierda: Modelo digital de terreno, obtenido con interferometría SAR, del volcán Lanín.

Algunas soluciones a partir de interferometría pueden ser el desarrollo de mapas topográficos para manejo de agua y agricultura, modelos de superficie y de terreno para planificación de obras de ingeniería, evaluación de impacto ambiental en la explotación de recursos minerales, monitoreo de operaciones de extracción de recursos energéticos y minerales, seguimiento de deformación por tectónica activa, observación de actividades volcánicas, entre otros. ■



INGENIERÍA
EN ÓRBITA



Repensando la energía de propulsión

En esta entrevista, el **Ing. Bernardo Muguerza** explica paso a paso la investigación que lo llevó a conocer de cerca las variables de la construcción de las carcasas que cubren, ni más ni menos, los motores de los cohetes y que podrían aplicarse en otras industrias.

“La tecnología que se desarrolla para defensa es compleja y multidisciplinaria, por lo que tiene la posibilidad de generar muchas áreas de investigación y obtener resultados que se podrían aprovechar en otros rubros. En este sentido, me parece de suma importancia que se desarrolle un vínculo entre los institutos de investigación y empresas privadas, en el que los primeros puedan aportar todos sus conocimientos y alternativas que poseen para resolver problemáticas y encontrar aplicaciones a los desafíos que surgen en la industria”. Quien realiza estas afirmaciones es el recientemente graduado Ing. Bernardo Muguerza, quien culminó sus estudios de grado con una investigación científica sobre la caracterización mecánica de los motores de los cohetes.

Pero, entonces, ¿en qué consiste el motor de un cohete? Una de las principales definiciones es que se trata de un dispositivo generador de propulsión mediante la expulsión de gases, que provienen de la combustión de propergol (ver tercera ley de Newton), una mezcla de sustancias cuya combustión produce abundantes gases,

que al salir por una tobera sirven para impulsar un cuerpo. El empuje se genera, en primer lugar, a partir de la expansión termodinámica de los gases de escape, con alta presión y temperatura, en una tobera convergente-divergente. En este proceso, la entalpía de los gases se transforma en energía cinética. En segundo lugar, se genera empuje debido a la presión que ejercen en la superficie los gases de escape. En este tipo de aspectos, estuvo centrada la investigación de este entrevistado.

“A lo largo de mi carrera me interesé particularmente en los materiales, lo que me llevó a realizar mi Trabajo Profesional en materiales compuestos avanzados. En mi vida profesional, comencé trabajando en mantenimiento en un taller de automovilismo de alta competición, para luego rotar hace ya varios años hacia la especialidad de equipos mecánicos en empresas hidrocarbúferas”, dice este joven ingeniero de la UBA sobre sus primeros pasos como profesional de la ingeniería.

En el marco de su encuentro con *.ing*, Muguerza comenta que la línea de investigación con la que

Página anterior:
Ing. Bernardo Muguerza

culminó sus estudios consistió en la caracterización mecánica del material compuesto de fibra de carbono utilizado en la carcasa de un motor de combustible sólido. “Luego de investigar sobre estos componentes y su método de fabricación de bobinado por filamentos, se decidieron los distintos ensayos a realizar. Se extrajeron distintos tipos de probetas del cilindro para hacer diferentes ensayos destructivos y no destructivos, como de flexión y disco partido entre otros, este último instrumentado con emisión acústica para identificar los diversos tipos de falla con mayor exactitud, y se realizaron micrografías y termografías para caracterizar la porosidad obtenida en el proceso de fabricación. Como resultado, a partir del ensayo de disco partido, se buscó estimar la presión interna de falla del cilindro a partir de información obtenida de la literatura”, detalla.

La investigación de Muguerza llevó alrededor de dos años y medio, desde mediados de 2018 hasta fines de 2020, momento en el que se presentó el Trabajo Final. En un principio, indagó sobre el material, su aplicación especial y su método de fabricación. Luego, realizaron los ensayos: “si bien la aplicación como carcasa de cohete de combustible sólido es muy específica, esta estructura es un cilindro sometido a presión interior, por lo que podría ser aplicado en industrias que posean recipientes sometidos a las mismas características y en los que el peso sea una variable fundamental para justificar su desarrollo”, explica.

Vale señalar que el trabajo se enmarcó en un proyecto del Programa de Investigación y Desarrollo para la Defensa (PIDDEF). Se trabajó en conjunto con el CITEDEF (Centro de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa) y el Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de

Materiales (INTEMA), en donde se realizó la optimización del diseño y la fabricación de los tubos. Por otra parte, contó con la colaboración de una empresa del ámbito privado llamada Kohlenia, especialista en diseño y fabricación de componentes de material compuesto de fibra de carbono, para la fabricación de las probetas para el ensayo de disco partido a partir de los tubos.

Se establecieron relaciones entre las condiciones de fabricación de los tubos y las propiedades obtenidas. Se estudiaron tubos fabricados con siete y nueve capas, y se encontró que los primeros presentaron mejores propiedades mecánicas como consecuencia, principalmente, de la optimización del proceso de fabricación y de la orientación de las distintas capas en el laminado.

Se observaron también comportamientos diferentes dependiendo del tipo de endurecedor utilizado en la matriz, amina o anhídrido. Además, se llevaron a cabo ensayos no destructivos, que incluyeron la instrumentación de emisión acústica en el ensayo de disco partido, y un estudio preliminar para el control de calidad de materiales a partir del análisis por termografía infrarroja. La técnica de emisión acústica permitió caracterizar la consolidación del material compuesto de los tubos e identificar los mecanismos de falla dominantes.

“En nuestro país, la CONAE ha decidido descartar la tecnología basada en propulsores sólidos, tecnología utilizada con éxito hasta los años 90 en el país. Es de destacar que, sin embargo, es la primera opción para motores aceleradores en todas las agencias espaciales. Por ejemplo, el cohete SLS actualmente en desarrollo por la NASA será utilizado en vuelos tripulados a la luna previstos para este mismo año”, anticipa el Ing. Muguerza. ■

“Esta estructura es un cilindro sometido a presión interior, por lo que **podría ser aplicado en industrias que posean recipientes sometidos a las mismas características y en los que el peso sea una variable fundamental para justificar su desarrollo”.**



telecom



Potenciamos tus ganas de avanzar

Evolucionamos impulsando la inclusión
tecnológica y el talento digital.



Pertenece al Departamento de Ing. Naval de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y es uno de los más importantes de Latinoamérica.

Canal de Experiencias de Arquitectura Naval

En el subsuelo de la emblemática sede de Av. Paseo Colón 850 funciona el **LabHiNO (Laboratorio de Hidrodinámica Naval y Oceánica)**, que cuenta con un canal de 72 metros de largo, 3.6 metros de ancho y una profundidad de hasta 2 metros. **Este espacio de investigación es el que permite construir un buque en escala ("el modelo") para estudiar su resistencia al avance.**

CARRO

El **modelo** es arrastrado por un **carro** con una velocidad controlada (entre 0,1 a 4 m/s) para simular el avance del buque en aguas tranquilas.

DINAMÓMETRO

Permite vincular el modelo con el carro y, al mismo tiempo, medir la resistencia al avance, el hundimiento y el asiento que toma el modelo al avanzar a una determinada velocidad.

MODELO

El ensayo de "**resistencia al avance**" es una **pieza fundamental** para poder **predecir la potencia a instalar en un buque.**

Entre los ensayos típicos del LabHiNO se destacan: remolque en aguas tranquilas; remolque con ola regular, autopropulsado; hélices en aguas abiertas y cavitación de hélices.

Procesando imágenes para ver lo invisible. El método SUPPOSE

Axel Lacapmesure, Guillermo D. Brinatti Vazquez,
Micaela Toscani, Oscar E. Martínez, Sandra Martínez

Axel Lacapmesure: Laboratorio de Fotónica, Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM), FIUBA; CONICET, Buenos Aires, Argentina. **Guillermo D. Brinatti Vazquez:** Laboratorio de Fotónica, Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM), FIUBA, Buenos Aires, Argentina; ICFO, Institut de Ciències Fotòniques, Barcelona, España. **Micaela Toscani:** Laboratorio de Fotónica, Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM), FIUBA; CONICET, Buenos Aires, Argentina. **Oscar E. Martínez:** Laboratorio de Fotónica, Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM), FIUBA; CONICET, Buenos Aires, Argentina. **Sandra Martínez:** Laboratorio País, Instituto de Investigaciones Matemáticas Luis A. Santaló (IMAS), FCEyNUBA, Buenos Aires, Argentina; ICFO, Institut de Ciències Fotòniques, Barcelona, España.

Resumen

En este trabajo haremos una revisión del método SUPPOSE y sus variantes, desarrollado por el grupo para el procesamiento de imágenes, que permite recuperar información oculta por el borrono ocasionado por la limitación instrumental, fundamentalmente debida al límite de difracción en el caso de imágenes ópticas. El método permite reconstruir realidades ocultas con estructuras hasta cinco veces más pequeñas que la resolución del equipo, y en sus variantes puede ser aplicado para objetos de baja dimensionalidad, detección de bordes o superficies en caso de imágenes tridimensionales.

1. Introducción

Al adquirir una imagen de algún fenómeno, cualquiera sea su origen (óptica, rayos X, etc.), en alguna u otra medida la imagen obtenida será una representación borrosa de la estructura real que se desea observar. El proceso de formación de la imagen $S(x,y)$ puede modelarse como la convolución del objeto real $R(x,y)$ con la función de respuesta del instrumento utilizado $I(x,y)$ (esta

última es llamada función de dispersión de puntos o PSF en el ámbito de la microscopía). Más precisamente

$$S(x,y) = R(x,y) * I(x,y) + \eta(x,y) \quad (1)$$

donde $\eta(x,y)$ es ruido de media cero. En la figura 1 se ilustra este proceso de adquisición de imágenes con un ejemplo de dos segmentos paralelos ubicados a una distancia menor a la resolución del instrumento. Esto da lugar a una imagen borroada, empeorada por el ruido.

Con el objetivo de recuperar la estructura que se encuentra borroada en la imagen, muchos algoritmos de deconvolución han sido desarrollados para imágenes 2D usando filtrado inverso (Mc-Nally *et al.*, 2006) o introduciendo términos de regularización (Tikhonov *et al.*, 1977; Voort *et al.*, 1995; y Kempen *et al.*, 1997). También se han desarrollado métodos para imágenes 3D de una pila de proyecciones 2D (Sage *et al.*, 2017; Carrington *et al.*, 1990). Recientemente un nuevo método de deconvolución se ha introducido basándose en la técnica del desplazamiento medio

(Torres-García *et al.*, 2022) que se puede aplicar a la microscopía fluorescente pero solo logra una mejora de 1.6 en la resolución.

El proceso de invertir la ecuación (1) es un problema mal condicionado, que puede dar lugar a artefactos debidos a la presencia de ruido. Las técnicas de deconvolución estándar evitan ese mal condicionamiento regularizando el problema matemático, pero produciendo una pérdida de los detalles del objeto. Por este motivo, las mejoras en la resolución suelen ser marginales.

En este trabajo describiremos un método recientemente introducido por nuestro grupo que elimina el mal condicionamiento del problema inverso permitiendo la reconstrucción del objeto con superresolución. En este trabajo utilizamos el término superresolución que significa reconstruir la distribución de fuentes R con mejor resolución que la impuesta por la función de respuesta del instrumento $I(x,y)$ (como en, por ejemplo, Liu *et al.*, 2021; y Zhang *et al.*, 2020), no confundir con el mismo término que a veces se utiliza cuando la limitación es el tamaño de píxel (como en, por ejemplo, Singla *et al.*, 2022; o Ge *et al.*, 2023).

2. El método SUPPOSE

El método ha sido introducido originalmente en Martínez *et al.*, 2019; Toscani *et al.*, 2019; y Toscani *et al.*, 2021. La idea subyacente consiste en asumir que el objeto de origen $R(x,y)$ puede ser representado como una superposición de fuentes virtuales de igual intensidad α , cambiando el problema mal condicionado de encontrar la intensidad de cada punto $R(x,y)$ por el de hallar las posiciones de las N fuentes virtuales $\{a_k\} (k=1:N)$ que mejor ajustan la estructura real presente en la imagen. Que las fuentes virtuales posean la misma intensidad simplifica el problema y lo transforma en un problema bien condicionado ya que ahora la intensidad α de las fuentes actúa como parámetro de regularización (Martínez *et al.*, 2019). Y simplemente para reconstruir diferentes intensidades presentes en la imagen el método acumula una mayor o una menor cantidad de fuentes virtuales en la misma área.

En términos matemáticos representamos R por la aproximación $\tilde{R}$ dada por

$$\tilde{R} = \alpha \sum_{k=1}^N \delta(x - a_k, y - b_k), \quad (2)$$

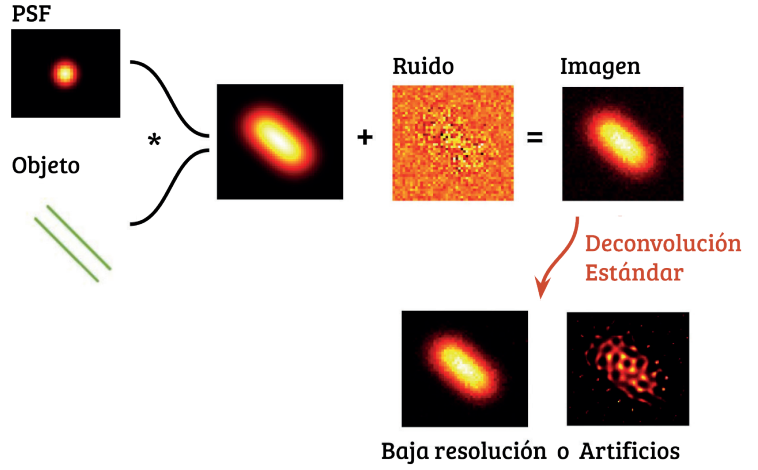


Fig. 1: Típica situación de borroneo y resultados de aplicar métodos de deconvolución estándar. El objeto a resolver consiste en dos segmentos paralelos (líneas verdes) que, en el proceso de formación de la imagen, son borroneados al ser convolucionados con la respuesta instrumental (PSF) para generar una imagen que tiene sumado, además, el ruido de la adquisición. Los métodos de deconvolución estándar generan artificios (debido al ruido) u objetos suavizados (debido a la presencia de términos de regularización).

Para estimar las posiciones de las fuentes virtuales que mejor ajustan la estructura verdadera resolvemos un problema de optimización que consiste en minimizar la siguiente función objetivo

$$\chi^2 = \|S - \tilde{R} * I\|^2 = \sum_{i=1}^{P_x} \sum_{j=1}^{P_y} \left(S(x_i, y_j) - \alpha \sum_{k=1}^N I(x_i - a_k, y_j - b_k) \right)^2 \quad (3)$$

Aquí (x_i, y_j) representa cada píxel donde está definida la imagen. Esto es equivalente a analizar cuán similar es la imagen adquirida respecto de la reconstrucción obtenida cuando se convoluciona $\tilde{R}$ con la respuesta impulsiva del instrumento (PSF).

El método de minimización utilizado debe tener en cuenta la enorme dimensión del espacio de las posiciones de las N fuentes virtuales (del orden de miles). Es así que en la versión original de SUPPOSE se eligió utilizar un algoritmo genético para resolver el problema de optimización. Para algunos casos particulares se puede optar por algoritmos más rápidos basados en métodos de descenso por gradiente estocásticos (Lacapmesure *et al.*, 2022).

El flujo de trabajo de este método se esquema-

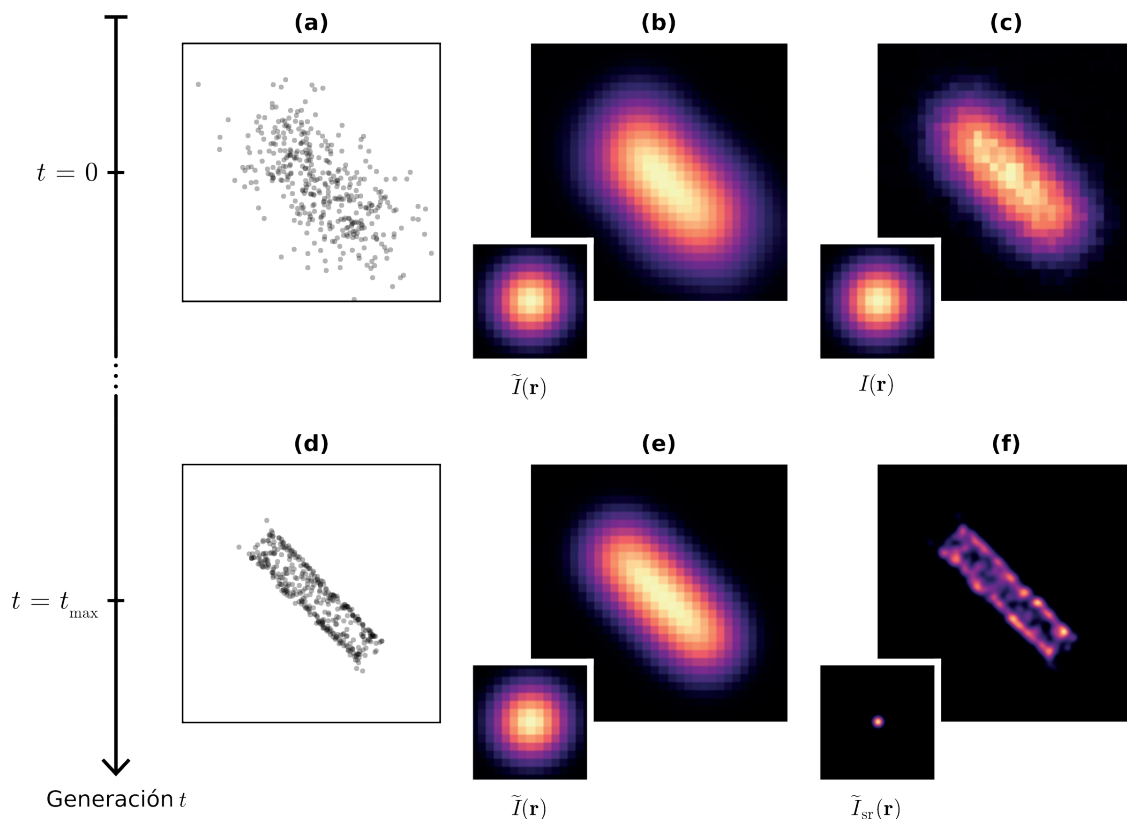


Fig. 2: Evolución del problema de optimización SUPPOSE. (a) A partir de una distribución inicial de fuentes virtuales $\{a_k b_k\}$ (b) SUPPOSE obtiene una predicción $\tilde{S}$ usando la ecuación 2 convolucionando con la PSF $\tilde{I}$ (c) . Esta predicción se compara con la adquisición S , como se indica en la ecuación 3 que mide la discrepancia entre las imágenes. (d) La solución de SUPPOSE se halla minimizando la ecuación 3 con un algoritmo iterativo, (e) de modo que su predicción $\tilde{S}$ se asemeja a S . La convolución entre la solución $\tilde{R}$ y una $\tilde{I}$ más pequeña permite hallar una imagen súperresuelta del objeto.

tiza en la figura 2, para el mismo caso de una imagen sintética cuya estructura real son dos segmentos de recta paralelos separados por una pequeña distancia. Se puede observar cómo partiendo de una distribución de fuentes inicial que cubre las zonas más intensas de la imagen, el algoritmo busca las posiciones de las fuentes $\{a_k b_k\}$ que minimizan la ecuación (3). La solución SUPPOSE es un conjunto de las posiciones de cada una de las fuentes virtuales utilizadas. Para una mejor visualización, la solución genera una reconstrucción convolucionando dichas fuentes con una respuesta ficticia $\tilde{I}$ mucho más fina que la respuesta original del instrumento. Algo equivalente a realizar un histograma en dos dimensiones de la solución obtenida. Así representada, la imagen reconstruida muestra mayor intensidad donde el algoritmo depositó una mayor

densidad de fuentes, permitiendo visualizar más fácilmente el ajuste en la intensidad.

Como la comparación de la medición con el ajuste se realiza a través de comparar con una convolución, el método es muy robusto frente a ruido de alta frecuencia espacial, pero se debe tomar especial cuidado con la presencia de ruido de baja frecuencia, que puede ser confundido con la realidad subyacente del objeto que se busca describir. Es así que en zonas donde el ruido tiene una fluctuación intensa, el algoritmo intentará ubicar más fuentes. Se corre el riesgo de sobreajustar el ruido si se extiende la optimización en exceso. Una manera de ganar confianza en el resultado es tomar más de una imagen del mismo objeto y comparar las estructuras recuperadas después del proceso.

Para ejemplificar esto, en la figura 3 se presentan tres imágenes de la misma zona de una muestra de células BPAE en que los filamentos de actina se encuentran marcados con el fluoróforo Alexa Fluor 488 phalloidin, cuyos máximos de excitación y emisión se encuentran en $\lambda_{ex} = 505$ nm y $\lambda_{em} = 515$ nm. Para ello utilizamos un microscopio de fluorescencia con un objetivo 60x de apertura numérica $NA = 1.3$. Para estos parámetros de adquisición la resolución teórica es de 200 nm. En este caso el píxel en la imagen equivale a 68 nm. Ajustamos la función PSF a partir de múltiples imágenes con nanopartículas fluorescentes de diámetro 100 nm. El ancho FWHM característico de esta función resultó de 227 nm.

Las reconstrucciones SUPPOSE mostradas en la figura 3 (a) las realizamos convolucionando las coordenadas de cada solución con una función Gaussiana de ancho FWHM = 94 nm y poseen un tamaño de píxel de 20 nm. Comparamos las soluciones entre sí tomando para cada solución la distancia entre cada fuente virtual y la fuente virtual más cercana de otra solución. Así con cada par de soluciones se confecciona un histograma de soluciones, del cual se determina su valor medio. De los distintos pares comparados (seis en total) se realiza un histograma de dichos valores medios y el valor medio de dicho histograma permite determinar la precisión como [Toscani et al., 2023]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2}} E[|X|] \quad (4)$$

Para el ejemplo de la figura 3 el valor medio resultó $E = 29.8$ nm, dando una precisión de 37 nm. Se ve además que, dado el mayor nivel de ruido en la adquisición, el factor, debido al error en la determinación de la PSF, no afecta sustantivamente este ajuste.

En la figura 4 se muestran algunos de los resultados obtenidos tras aplicar el método SUPPOSE en imágenes adquiridas por microscopía de fluorescencia. En todos los casos se observa como SUPPOSE logra resolver estructuras que se encuentran borroneadas en la imagen original. En general, el nivel de ruido presente en la imagen es un factor determinante en la calidad de las reconstrucciones SUPPOSE que se pueden obtener. Cabe destacar que SUPPOSE es muy robusto ante ruido de alta frecuencia en las imágenes. Sin embargo, el método es susceptible a sobreajustar la estructura de ruido de baja frecuencia en aquellas imágenes donde el nivel de señal ruido

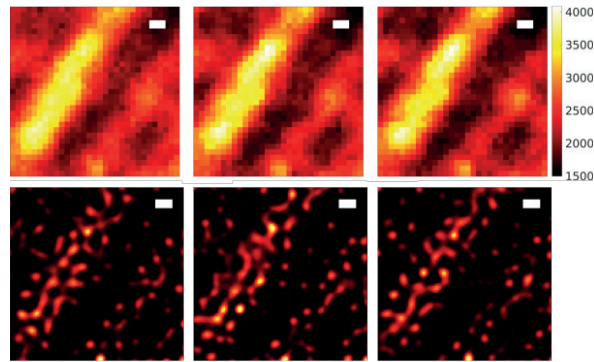


Fig. 3: a) Parte superior, tres imágenes de fluorescencia de la misma zona, inferior, tres ajustes con SUPPOSE.

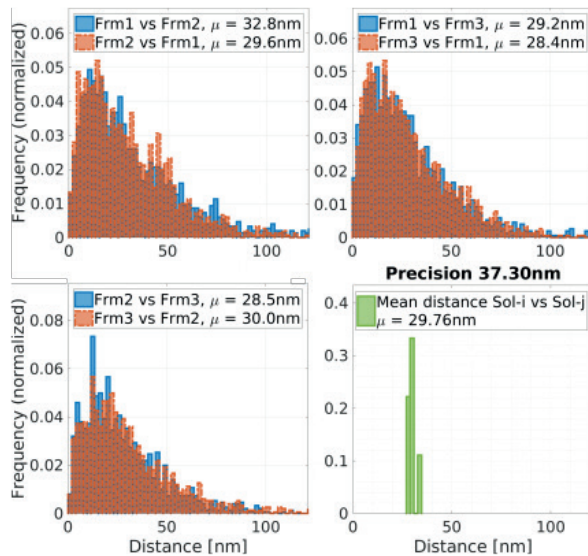


Fig. 3: b) histogramas de las distancias entre las fuentes de dos soluciones, son en total 3 pares de histogramas correspondiendo a los tres pares de imágenes posibles. La precisión se obtiene del histograma de valores medios de cada comparación.

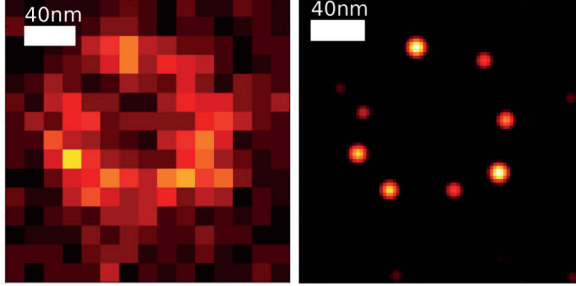


Fig. 4: Algunos de los resultados SUPPOSE obtenidos tras procesar imágenes de microscopía de fluorescencia a) Imagen de microscopía STED correspondiente al poro complejo nuclear y la solución SUPPOSE obtenida donde se resuelve la estructura octogonal del arreglo de proteínas Nup96 marcadas en la muestra.

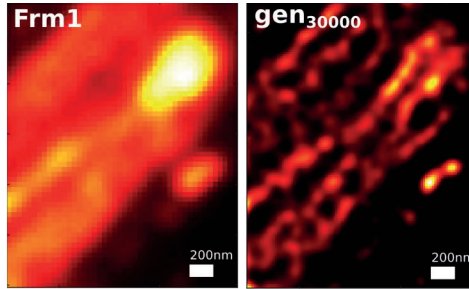


Fig. 4: b) Imagen de microtúbulos en una células de arteria pulmonar bobina y solución SUPPOSE donde se logran resolver detalles de la estructura enmascarados en la imagen original.

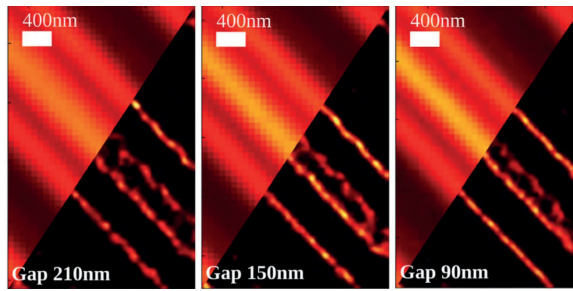


Fig. 4: c) Imágenes de la muestra de calibración ArgoSIM con estructura de líneas paralelas separadas a distintas distancias y la solución SUPPOSE donde se observa que se logra resolver hasta la separación de 90nm entre los segmentos.

no es adecuado. En general, hemos observado que frente a condiciones de ruido moderado el método logra mejorar entre 3 y 5 veces la resolución del sistema óptico original (Toscani et al., 2023).

3. Variantes del método: bordes

SUPPOSE funciona eficientemente cuando el objeto a reconstruir es de baja dimensión o ralo, algo habitual en estructuras intracelulares. Si el objeto es denso, demanda un número muy grande de fuentes virtuales para llenar la estructura, y el método se hace inadecuado. Para estos casos se desarrolló una variante del método basado en hallar los bordes del objeto, que por definición tiene baja dimensión (Vazquez et al., 2020), y una variante del mismo se desarrolló para estructuras tridimensionales para las que es necesario determinar la superficie delimitante (Vazquez et al., 2020).

Para delimitar un contorno, ahora no alcanza con dar un conjunto de puntos, sino que además debe ordenarlos y orientarlos. En la figura 4 (a) se muestra cómo se define la línea y su normal a partir de una sucesión de fuentes puntuales. Para el caso de superficies envolviendo un borde tridimensional se utiliza un arreglo de triángulos como se ilustra en la figura 3 (b),

El borde de la figura $R(x)$ queda definido a partir del gradiente de la misma, que se hace singular precisamente en el borde buscado. A partir de la ecuación 1 se obtiene:

$$\nabla S = \nabla R * I + \eta' \quad (5)$$

Y la solución se aproxima para el caso bidimensional por:

$$\tilde{V}R = \alpha \sum_{k=1}^N \delta(x - a_k, y - b_k) \hat{n}_k \quad (6)$$

Donde $\hat{n}_k$ denota el vector normal al segmento que une 2 fuentes consecutivas.

Siendo trivial la extensión a 3D. La función a minimizar ahora resulta:

$$x^2 = \|\nabla S - \nabla R * I\|^2 = \sum_{d=1}^2 \sum_{i=1}^{P_x} \sum_{j=1}^{P_y} \left(\left((\nabla S)_{ij} - \alpha \sum_{k=1}^N I_{ij}^k \hat{n}_k \right) \cdot \hat{e}_d \right)^2 \quad (7)$$

Donde I_{ij}^k denota $I(x_i - a_k, y_j - b_k)$.

A partir de esta función a optimizar, iniciando las iteraciones con una curva de nivel que dará un posible contorno, se procede a iterar hasta lograr un ajuste adecuado. Para evitar soluciones que presenten oscilaciones abruptas del contorno se suma un factor de regularización de modo de minimizar la función f dada por:

$$f = x^2 + \lambda \sum_{k=1}^N (1 - \hat{n}_k * \hat{n}_{k+1})^2 \quad (8)$$

Donde el parámetro λ es el peso que se le da al término que penaliza las oscilaciones rápidas (ángulos pronunciados entre segmentos contiguos).

En la figura 5 se ilustra un ejemplo en que una estrella truncada (a) genera una imagen (b) cuyo contorno se ilustra en (c) junto con la solución obtenida utilizando el método convencional de Laplacian of Gaussian [Marr et al., 1980]. Según el parámetro de regularización se obtienen soluciones adecuadas (5-e), con exceso de oscilaciones al disminuir λ 100 veces (5-d) o demasiado suave al incrementar λ en esa misma cantidad (5-f). Es notable la mejora del nuevo método, pudiendo recuperar los detalles ocultos con gran exactitud. Aplicando una métrica similar a la descrita anteriormente, la exactitud (comparando la estrella original con la solución) es 15 veces mejor que la resolución de la imagen de partida.

Una versión 3D de detección de bordes usando las estructuras descritas en la figura 4-b permite hallar la superficie de un objeto a partir de cortes obtenidos en microscopios confocales o multifotónicos. En la figura 6 se ilustra una reconstrucción a partir de una imagen simulada de una estrella 3D truncada adquirida con un microscopio cuya PSF tiene una dimensión del orden de la estructura. En la figura se muestra una proyección de la imagen adquirida poniendo en evidencia que la estructura no es resuelta. La proyección en el plano xz recuerda a su contraparte 2D sin evidenciarse la forma de la misma. La solución de Canny (Canny et al., 1986) aplicada a la imagen volumétrica muestra una superficie ovoide, de tamaño similar a la PSF. Para este caso, el método Canny agregado a Richardson-Lucy ([Richardson et al., 1972], [Lucy et al., 1974]) recupera un poco más de la forma del objeto, identificando algunas de sus partes principales. No obstante, la comparación con SUPPOSE 3Dge muestra la superioridad del método propuesto, que puede verse también en las métricas, que

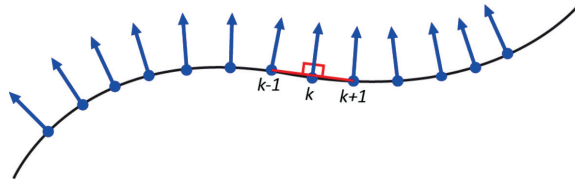


Fig. 4: a) Sucesión de fuentes indicando como se toma la normal a partir del segmento que une las dos fuentes contiguas.

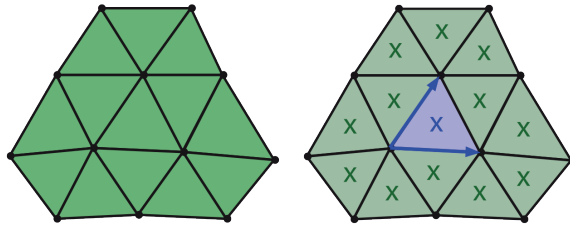


Fig. 4: b) Triángulos acoplados para definir una superficie en 3D, la normal se define a partir de dos de sus lados.

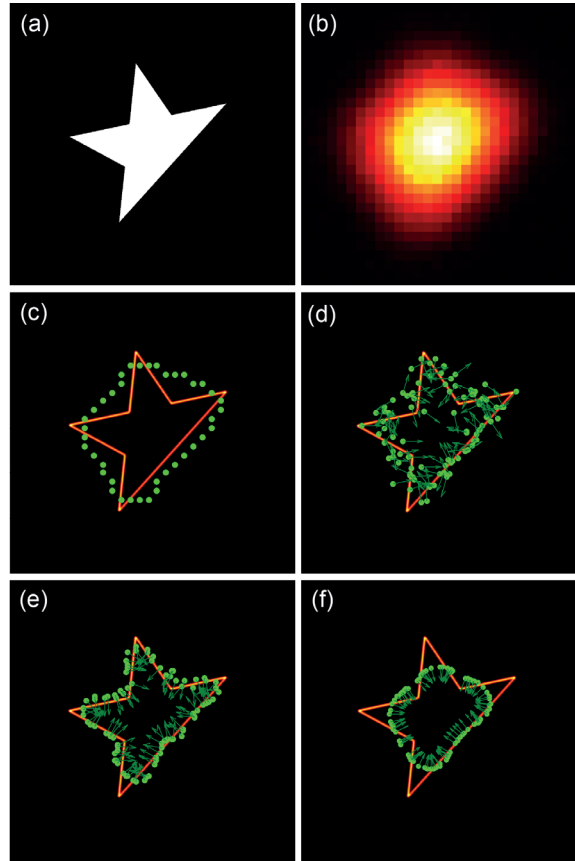


Fig. 5: (a) Objeto a detectar. (b) imagen del instrumento a procesar, (c) Contorno buscado y solución obtenida con métodos convencionales, (d-f) soluciones obtenidas forzando distintos parámetros de regularización.

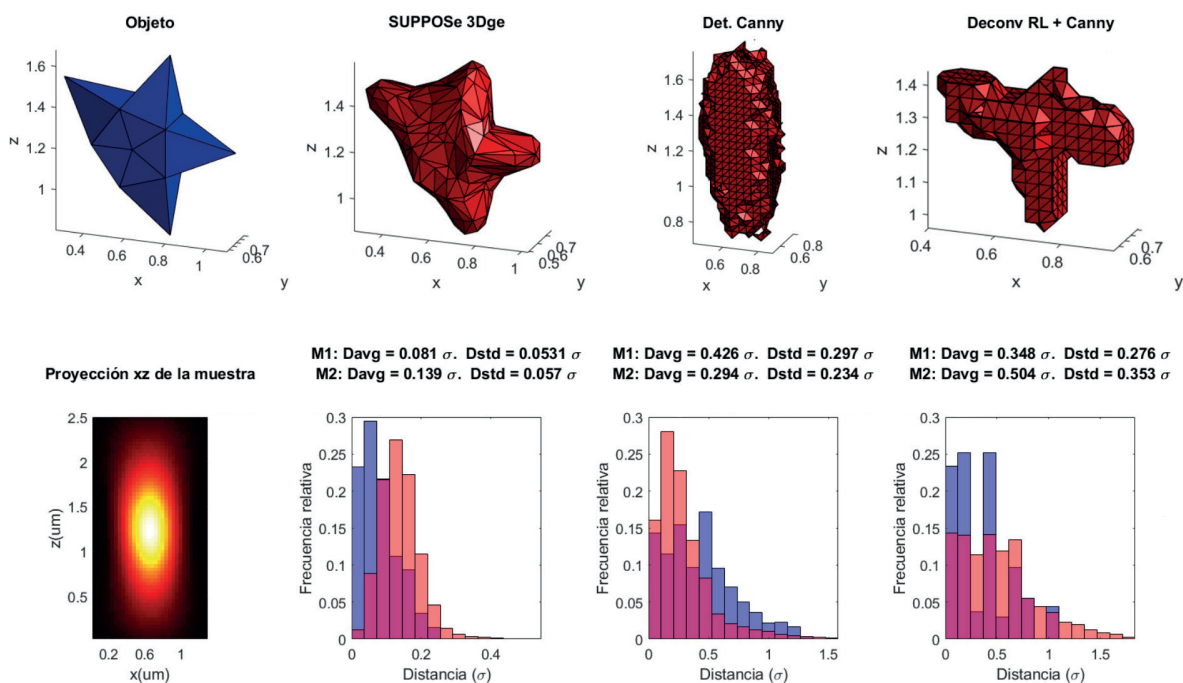


Fig. 5: Solución de SUPPOSE para una estrella de tamaño menor a la PSF. Fila superior (respectivamente): muestra en alta resolución, solución de SUPPOSE, detección de bordes Canny y detección de bordes Canny luego de deconvolucionar la imagen por Richardson-Lucy. Fila inferior (respectivamente): proyección xz de la imagen volumétrica simulada, luego, cada histograma corresponde a las métricas de distancia de la solución superior.

muestran una mejoría entre un factor 2 a 3 en todos los estimadores.

4. Conclusiones

Se ha presentado un revisión del método SUPPOSE de deconvolución que puede ser utilizado cuando la imagen a procesar se puede describir como una convolución del objeto que se desea reconstruir con la respuesta impulsiva del instrumento de medición (cámara, microscopio, etc.). Se ha podido demostrar que el método es muy robusto ante la presencia de ruido en la adquisición, que es un limitante en los métodos convencionales de deconvolución y se discutió cómo medir si el ruido está afectando la recuperación de información a partir de la toma de más de una imagen.

Extensiones del método al caso de detección de bordes en dos y tres dimensiones mostraron la capacidad de definir estructuras menores al tamaño de la respuesta impulsiva del instrumento

con exactitudes y precisiones más de 10 veces mejores que la resolución del instrumento.

Bibliografía

- [Canny et al., 1986] Canny, J. "A Computational Approach to Edge Detection" en *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, n° 6, pp. 679–698, 1986.
- [Vázquez et al., 2020] Vázquez, G. D. B., Martínez, S. y Martínez, O. E. "Super-Resolved Edge Detection in Optical Microscopy Images by Superposition of Virtual Point Sources" en *Optics Express*, vol. 28, n° 17, pp. 25319–25334, 2020.
- [Vázquez et al., 2024] Vázquez, G. D. B., Lacapmesure, A. M., Martínez, S. y Martínez, O. E. "Suppose 3dge: A Method for Super-Resolved Detection of Surfaces in Volumetric Fluorescence Microscopy" en *Journal of Optics and Photonics Research*, 2024.
- [Richardson et al., 1972] Richardson, W. H. "Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration" en *JoSA*, vol. 62, n° 1, pp. 55–59, 1972.
- [Lucy et al., 1974] Lucy, L. B. "An Iterative Technique for the Rectification of Observed Distributions" en *The astronomical journal*, vol. 79, p. 745, 1974.
- [McNally et al., 2006] McNally, J. G., Karpova, T., Cooper, J., Conchello, J. A. "Three Dimensional Imaging by Deconvolution Microscopy" en *Methods* vol. 19, n° 3, pp. 373–385, 2006.
- [Sage et al., 2017] Sage, D., Donati, L., Soulez, F., Fortun, D., Schmit, G., Seitz, A., Guillet, R., Vonesch, C. y Unser, M. "DeconvolutionLab2:

An Open-Source Software for Deconvolution Microscopy" en *Methods*, n° 115, pp. 28–41, 2017.

[Singla et al., 2022] Singla, K., Pandey, R. y Ghanekar, U. "A Review on Single Image Super Resolution Techniques Using Generative Adversarial Network" en *Optik*, vol. 266, p. 169607, 2022.

[Tikhonov et al., 1977] Tikhonov, A., Arsenin, V. *Solutions of Ill-Posed Problems*, First Scripta series in mathematics, Vh Winston, 1977.

[Torres-García et al., 2022] Torres-García, E., Pinto-Cámara, R., Linares, A., Martínez, D., Abonza, V., Brito-Alarcón, E., Calcines-Cruz, C., Valdés-Galindo, G., Torres, D., Jabłoński, M., et al. "Extending Resolution Within a Single Imaging Frame" en *Nature Communications*, vol. 13, n° 1, pp. 7452, 2022.

[Voort et al., 1995] Voort, H. T. M. V. D. y Strasters, K. C. "Restoration of Confocal Images for Quantitative Image Analysis" en *J. Microscopy*, vol. 178, n° 2, pp. 165–181, 1995.

[Kempen et al., 1997] Kempen, G. M. P. V., Vliet, L. J. V., Verveer, P. J. y Voort, H. T. M. V. D. "A Quantitative Comparison of Image Restoration Methods for Confocal Microscopy" en *J. Microscopy*, vol. 185, n° 3, pp. 354–365, 1997.

[Carrington et al., 1990] Carrington, W., Fogarty, K. y Fay, F. "3D Fluorescence Imaging of Single Cells Using Image Restoration" en *Mod. Cell Biol.*, vol. 9, pp. 53–72, 1990.

[Ge et al., 2023] Ge, L. y Dou, L. "G-Loss: A Loss Function with Gradient Information for Super-Resolution" en *Optik* vol. 280, p. 170750, 2023.

[Zhang et al., 2020] Zhang, Y., Zhou, W., Wang, X. y Yin, J. "A Novel Reconstruction Algorithm for Polarization Modulated Fluorescence Super-Resolution Microscopy" en *Optik*, vol. 206, p. 163358, 2020.

[Liu et al. 2021] Liu, C. y ye, A. "Super-Resolution Imaging on

Multilayer Sample by Microsphere-Assisted Microscope" en *Optik*, vol. 247, p. 167889, 2021.

[Martínez et al., 2019] Martínez, S., Toscani, M. y Martínez, O. E. "Superresolution Method for a Single Wide-Field Image Deconvolution by Superposition of Point Sources" en *J. Microscopy*, vol. 275, n° 1, pp. 51–65, 2019.

[Toscani et al., 2021] Toscani, M. y Martínez, S. "Solving the Boundary Artifact for the Enhanced Deconvolution Algorithm SUPPOSE Applied to Fluorescence Microscopy" en *Comput. Opt.*, vol. 45, n° 3, pp. 418–426, 2021.

[Toscani et al., 2019] Toscani, M., Martínez, S. y Martínez, O. E. "Single Image Deconvolution with Super-Resolution Using the SUPPOSE Algorithm" en *Single Molecule Spectroscopy and Superresolution Imaging XII*, vol. 10884, International Society for Optics and Photonics, SPIE, pp. 91–98, 2019.

[Toscani et al., 2023] Toscani, M., Martínez, O. E. y Martínez, S. "Resolution, Accuracy and Precision in Super-Resolved Microscopy Images Using SUPPOSE" en *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 161, p. 107337, 2023.

[Lacapmesure et al., 2022] Lacapmesure, A. M., Vazquez, G. D. B., Mazzeo, A., Martínez, S. y Martínez, O. E. "Combining Deep Learning with SUPPOSE and Compressed Sensing for SNR-Enhanced Localization of Overlapping Emitters" en *Appl. Opt.*, vol. 61, n° 7, D39–D49, 2022.

[Marr et al., 1980] Marr, D. y Hildreth, E. "Theory of edge detection" en *Proc. R. Soc. Lond. B.*, vol. 207, pp. 187–217, 1980.

Actualizá tus conocimientos en ingeniería

Posgrados
2025

Una oportunidad de **crecimiento profesional y personal** en una de las universidades líderes de Latinoamérica.

Consultas: posgrado@fi.uba.ar



NUESTROS
GRADUADOS

.ing | 32 | 33

Ingeniería sobre ruedas

Entrevista al Ing. Carlos Nerini, un profesional de la FIUBA radicado desde hace años en Italia para cumplir el sueño de aportar sus conocimientos en la cuna de la industria automotriz.

Carlos Sebastián Nerini, nacido en Lomas de Zamora en octubre de 1985, creció y vivió en Llavallol hasta los 25 años “en un terreno que compartíamos con mis abuelos sicilianos que a duras penas hablaban español. Tuve una infancia de barrio en una familia que mantenía fuertes lazos con nuestros parientes del otro lado del océano”, cuenta desde Italia este graduado de la FIUBA, que egresó el 3 de septiembre de 2012 con el título de ingeniero mecánico, luego de más de ocho años de carrera.

“No fue una decisión consciente, sino la suerte de haber encontrado certezas que me fueron guiando”, afirma el Ing. Nerini sobre su elección por la ingeniería como la profesión que lo acompañará por toda la vida. “El hecho inicial que aún recuerdo, es haber subido a un *karting* que mi primo había fabricado cuando yo tenía alrededor de tres años. Es como si esa sensación me hubiera puesto en un andén que me llevaría hasta hoy. Luego, a los diez, aprendí a manejar y fue otra inspiración inolvidable. Tuve siempre la certeza de querer estar conectado al automóvil: desde el manejo, la reparación, el conocimiento..., e incluso a su mística. Sin pensarlo mucho, a los doce me cambié a una escuela técnica y sentía que el próximo paso sería la ingeniería. Algunos decían que haga electrónica pensando en el futuro. Y mis padres, más al tanto de los campos de aplicación de cada carrera, me ayudaron a elegir la mecánica mientras mediaba el industrial”.

Recuerda Nerini que en la carrera tuvo otra “confirmación”: “Si bien por aquel entonces en la FIUBA no había muchas materias para quienes queríamos adentrarnos en el mundo de los autos, descubrí en las cursadas un gran placer por entender la física, llegar a la verdad científica y mejorar la técnica”, afirma, agregando que “para mí el futuro está en lo que a uno disfruta hacer y por eso tenía claro que lo tendría que construir entorno a un automóvil. Luego de haber cursado Máquinas Alternativas, inspirado por sus clases, fui a ver al ing. Daniel Zambrano para pedirle un consejo sobre cómo empezar mi camino en la industria automotriz. Me dijo algo potente y liberador que siempre tuve presente ‘Elegí lo que te guste, todo lo demás llega’. Entonces, aproveché la primera oportunidad de trabajo que tuve en la industria automotriz, con la suerte de que el puesto me volvía a acercar a esa primera sensación en el *karting* de mi primo”.

Sobre su actual vida en Europa, continente al que llegó en 2019, este graduado de la FIUBA confiesa que “su sueño profesional era ejercer en un contexto de máxima

competitividad, tecnología y conocimiento. Cuando sentí que había terminado mi experiencia en Sudamérica y estaba listo para probar en otro lugar, empecé a buscar oportunidades y, gracias a una recomendación, encontré un puesto realmente sonado en un equipo en expansión para diseñar un *hypercar* desde cero. Desde entonces, sucedieron muchísimas cosas: trabajé, aprendí, sufrí y disfruté mucho”.

Vale señalar que recientemente, junto a un socio y amigo italoargentino, Nerini fundó una *startup* tecnológica orientada a medir el comportamiento de los neumáticos en su condición real de manejo y generar *digital twins* con un alto valor de realismo, algo nuevo en el mercado. “Nuestros modelos de neumático permiten comenzar el diseño de un nuevo vehículo en un ambiente de simulación extremadamente realista en distintas superficies de ruta (hielo, mojado, etc). Algo que ahorra tiempos de desarrollo y costos, reduce la cantidad de prototipos y test físicos, y aumenta la eficiencia de los procesos y el conocimiento de la dinámica vehicular”, detalla.

Cuando se le pregunta al Ing. Nerini sobre el rol de la ingeniería en su vínculo con el Estado y el sector productivo, tecnológico e industrial, sostiene: “En la Argentina habría que aumentar los contenidos tecnológicos en materia automotriz, que preferiblemente deberían ser impartidos desde las escuelas técnicas hasta las carreras de grado por ingenieros con experiencia proyectual. La universidad debe continuar acercándose a las iniciativas emprenditoriales de valor social y tecnológico, tratando de reducir la burocracia y facilitando la sinergia. Porque las grandes cosas se generan en equipo y los y las estudiantes no ven la hora de aprender también fuera del aula. Es algo que percibo a diario en contacto con los jóvenes de la FIUBA que forman parte de las actividades de dinámica vehicular en el Departamento de Mecánica”. ■

“El hecho inicial que aún recuerdo, es haber subido a un *karting* que mi primo había fabricado cuando yo tenía alrededor de tres años. Es como si esa sensación me hubiera puesto en un andén que me llevaría hasta hoy”.



PROTAGONISTAS
DE LA FIUBA

.ing | 34

De libros, revistas y plataformas

Entrevista a la Lic. Ana María Martínez, quien ingresó a la Biblioteca en 1999, dedicándole toda una vida a la gestión de bibliografía para la enseñanza y la investigación en ingeniería.

Cuenta la licenciada en Bibliotecología y Documentación Ana María Martínez que todo empezó allá por 1995, cuando los dos diarios de mayor circulación del país publicaron notas sobre esa carrera, sus incumbencias, planes de estudio y oportunidades laborales. “Me interesaron las materias que se dictaban y, siendo mis hijos preadolescentes, disponía de tiempo para poder cursarlas. Mi marido me alentó, ya que siempre estaba buscando información actualizada para sus conferencias y publicaciones. Y aquí me tienen, en una facultad muy diferente a la que ingresé, en 1999”, afirma.

Sobre cómo ha impactado la revolución digital en su trabajo cotidiano, Martínez argumenta que “la información es tan abundante hoy en día, con sus nuevos formatos y orígenes, que es vital verificar la validez de sus fuentes. También son importantes las cuestiones legales, ya que el concepto de información libre en la web no necesariamente implica gratuidad. En el caso de que sea gratis y disponible para todos y todas, hay una obligación ineludible de dar crédito a autores y autoras en cada publicación y trabajo académico”.

“La tecnología nos brinda soluciones en el día a día de nuestra profesión –detalla– y nos plantea desafíos con la posibilidad de nuevos servicios para brindar al claustro académico. Las bibliotecarias y los bibliotecarios gestionamos información, no sólo ‘prestamos libros’, pudimos pasar de largas horas tipeando las tarjetas de los catálogos manuales, a trabajar con bases de datos (OPAC, por sus siglas: *Online Public Access Catalog*)

que, brindando la misma información que esas fichas en papel, ofrecen múltiples puntos de acceso a la información sobre nuestras colecciones, incluyendo los enlaces directos al material editado digitalmente”.

En este sentido, uno de los hitos que destaca Martínez durante sus años de trabajo en la FIUBA, es la puesta *online* de un repositorio digital –disponible, por cierto, en <http://bibliotecadigital.fi.uba.ar/>–, que tiene como principal objetivo conservar y brindar acceso a todo lo publicado en el ámbito institucional, y que permite visibilizar la producción de investigadores, investigadoras, docentes y estudiantes.

La Lic. Martínez también reflexiona sobre otros aportes realizados desde la bibliotecología: la “alfabetización informacional” (por su denominación en inglés *information literacy*), que busca formar usuarios de la información autónomos, capaces de encontrarla y evaluar su pertinencia, utilizándola correctamente desde el punto de vista legal. “Cada nuevo avance tecnológico en la gestión de la información nos lleva a formarnos en diferentes incumbencias, cambian los soportes de la información y sus vías de diseminación, pero sus necesidades permanecen tan actuales como siempre, los bibliotecarios hemos gestionado información en tabletas de arcilla, papiros y libros depositándola en edificios. Ahora, lo hacemos con archivos digitales en la nube; en esencia, la misma hermosa profesión”, define. ■

Crédito foto: Marisol Rivera, Comunicación Institucional FIUBA.

42 años proyectando el futuro



BTU

Seguinos en
nuestras redes

Leandro N. Alem 896, Piso 5 (1001 AAQ) - CABA
Buenos Aires - Argentina - 011 4321-4800
www.btu-sa.com - info@btu-sa.com

TODO LO QUE HACEMOS ES
EL RESULTADO DE **CÓMO LO HACEMOS**



PERSONAS CON BUENA ENERGÍA

Sumá vos también tu energía a la compañía líder en Argentina y la región,
donde podrás potenciar tu desarrollo profesional y ser protagonista
de la transición energética.



Pan American
ENERGY