



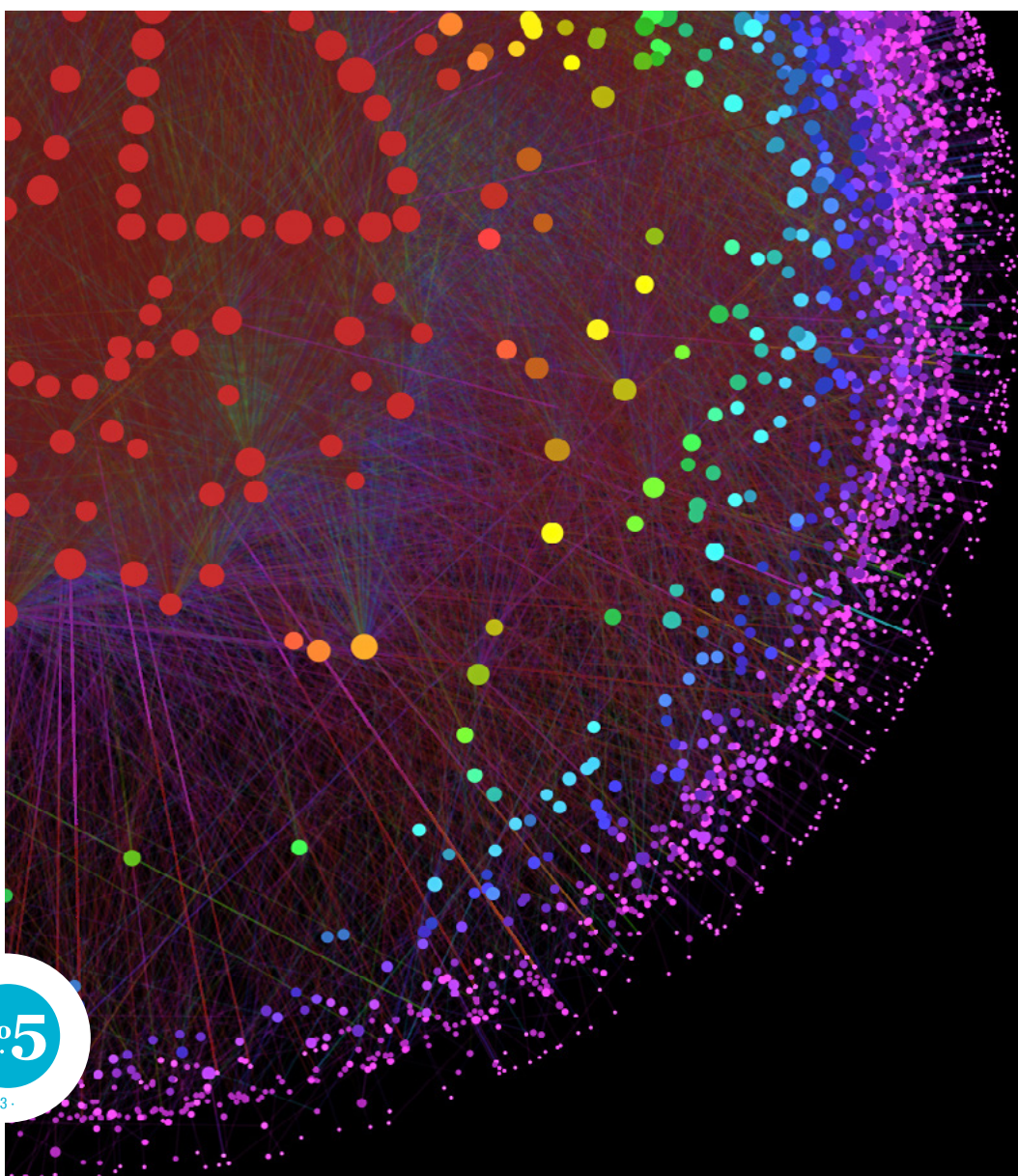
Ciencia en red

ANATOMÍA DE
LAS REDES

INTELIGENCIA
ARTIFICIAL:
EL FUTURO YA
LLEGÓ

ELECTRICIDAD
Y DATOS EN UN
MISMO CABLE

LA MATEMÁTICA
DE LOS
COMPORTAMIENTOS



nº5

· 2019 - Año 3 ·

GRANDES PROYECTOS FORMAN NUESTRA HISTORIA Y VOS PODÉS SER PARTE DE ELLA.

El Grupo Techint mantiene un fuerte compromiso con el desarrollo académico y profesional de los jóvenes, brindando oportunidades únicas de carrera.



SUMARIO

STAFF

Comité Editorial

(Por Res. Decano 786/2019)

Ing. Mario Alonso

Dr. Ing. Juan Giribet

Dr. Ing. Sergio Lew

Coordinador editorial:

Lic. Daniel Krupa

Equipo de producción

Diseño

DG Carla Percivale

DG Tatiana Zambianchi

Redacción de contenidos

Lic. Daniel Krupa

Jerónimo Liñán

Editor de fotografía

DG Martín Dubovich

Corrección

Bettina Villar

Asistente de producción

Marisol Rivera

Impreso en junio de 2019.

Revista .ing es una publicación de distribución gratuita.

ISSN 2545-7691

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

Foto de tapa:

https://lanet-vi.fi.uba.ar/i_am_here

Contacto

Av. Paseo Colón 850 - CABA

C1063ACV - Argentina

prensa@fi.uba.ar

www.ingenieria.uba.ar

[f](#) [t](#) [i](#) [in](#) /ingenieriauba

[YouTube](#) /FIUBAoficial

EDITORIAL

Formando ingenieros en el siglo XXI

04

BREVES

Entre las mejores del mundo
Defensas de tesis online
Nuevo espacio en sede Las Heras
Mejoras en las entregas de títulos

05

CIENCIA EN RED

Anatomía de las redes

06 | 08

CIENCIA EN RED

Inteligencia artificial: el futuro ya llegó

10 | 14

CIENCIA EN RED

Electricidad y datos en un mismo cable

16 | 21

CIENCIA EN RED

La matemática de los comportamientos

22 | 23

ZOOM

Erosión superficial por barrido hidrodinámico

24 | 25

DOSSIER

Caracterización experimental de estructuras mediante vibración ambiente

26 | 31

NUESTROS GRADUADOS

Neurociencias de exportación
Dr. Ing. Diego Gutnisky

32 | 33

PROTAGONISTAS DE LA FIUBA

Ingeniería para todos y todas
Lic. Lucía Navarro

34

Nº 05

Formando ingenieros en el siglo XXI



En el año 2020, la Argentina cumplirá 150 años en la formación de ingenieros. Nuestra Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires tiene mucho para decir y hacer en este aniversario, siendo que el primer ingeniero graduado en este país lo hizo en esta Casa de Altos Estudios. No podía este evento histórico encontrarnos en mejor situación que en el marco de la renovación completa de toda nuestra oferta académica de grado y posgrado, y discutiendo nuevos títulos en lo que hemos dado en llamar el Proyecto Plan 2020.

Cabe recordar que el primer graduado del Departamento de Ciencias Exactas fue el ingeniero Luis Augusto Huergo. El diploma está fechado el 6 de junio de 1870 y lo habilita como “Ingeniero de la Escuela de esta Universidad en la Facultad de Ciencias Exactas”. Posteriormente, se instituyó oficialmente el 6 de junio como Día de la Ingeniería. Cuarenta y ocho años después, se graduó la primera mujer ingeniera, Elisa Bachofen, siendo no sólo la primera de Argentina, sino de Latinoamérica. El 5 de diciembre de 1918 recibió su título de “ingeniero” civil y en 1929 fue efectivizado con denominación femenina, posterior a la aceptación de la Real Academia Española.

Por unanimidad, el Consejo Directivo de la FIUBA aprobó en la sesión del 16 de octubre de 2018 dos resoluciones de vital importancia para el futuro institucional de esta Casa de Altos Estudios. Se trata de la implementación del denominado “Proyecto Plan 2020”. A partir de la aprobación de estas propuestas, la FIUBA tiene una iniciativa no sólo para actualizarse frente a los nuevos desafíos que los

ingenieros deben y deberán enfrentar en el futuro próximo, sino para generar todos aquellos proyectos que nos permitan mejorar el uso de nuestros recursos con el fin de estar a la vanguardia de la enseñanza mejorando y multiplicando nuestra oferta académica.

En este marco, los cambios de los planes de estudios, como así también las propuestas de nuevas carreras, deberán estar disponibles a fines del año 2020. El programa incluye la elaboración de una serie de actividades e hitos de debate institucional y una encuesta *online*. Este mismo cuestionario fue trabajado y respondido en la “Jornada Carreras del Futuro” (que puede consultarse en su versión completa desde este enlace <https://bit.ly/2PuDcYI>).

Nuestra facultad enfrenta desafíos nuevos y únicos en estos tiempos que corren. Desafíos que nos hemos autoimpuesto para actualizar, modernizar y reposicionar a esta querida y prestigiosa institución como referente de la ingeniería en la Argentina, en la región y en el mundo entero. En la era del conocimiento, de la cuarta Revolución Industrial, tenemos motivos externos e internos para llevar adelante este proyecto con la certeza de siempre ante la pregunta habitual sobre qué es lo que estamos haciendo desde la gestión de la FIUBA: formando a los ingenieros e ingenieras del futuro.

Ing. Alejandro M. Martínez

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

01

Entre las mejores del mundo

Ing. Química, Ing. Civil –por primera vez en esta edición–, Ing. Mecánica e Ing. Eléctrica-Electrónica son las carreras de la Facultad de Ingeniería de la UBA que figuran entre las 250 mejores del mundo en dichas especialidades en el *ranking* QS del 2019. La clasificación por temáticas de QS considera cuatro factores a través de encuestas: mide la reputación de la carrera entre los académicos y los empleadores; cuantifica las citas a la facultad en investigaciones y también establece un índice que evalúa cuán influyente es el graduado promedio. El mismo *ranking* de 2019 ubica a la UBA en el puesto 73 en el mundo como la mejor universidad latinoamericana, superando a la UNAM de México (113), a la Universidad de San Pablo (118) y a la Universidad Católica de Chile (132). De acuerdo con el mismo *ranking*, el MIT, Stanford y Harvard son las mejores tres universidades del mundo.

La Subsecretaría de Investigación y Doctorado ha instalado la modalidad a distancia para las defensas públicas de las tesis de doctorado. Esto permitirá la presencia virtual de jurados, asegurando la excelencia académica y potenciando también la internacionalización del doctorado de Ingeniería de la UBA. Este logro se ha alcanzado gracias a la colaboración del Centro de Tecnologías Educativas (CETEC), que cuenta con los medios materiales, además de brindar el soporte necesario para establecer la comunicación.

Defensas de tesis online

02

03

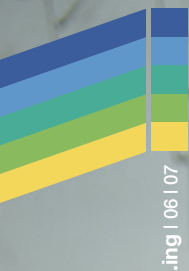
Nuevo espacio de atención en sede Las Heras

“Queremos revalorizar nuestro servicio educativo y nuestra atención a los alumnos. Esto es una facultad y el alumno es nuestra materia prima y es a quien tenemos que atender, y sobre todo comprender sus necesidades. Inclusive desde la enseñanza hoy se habla de la educación centrada en el alumno. Ya no es tanto lo que el cuerpo docente o académico cree respecto de lo que tiene que saber el alumno en una materia, sino que hoy nos centramos en cómo el alumno está preparado para esa materia. Por ejemplo, este año hicimos por primera vez un curso de matemática para los chicos que aprueban el CBC. Así que esto de estar centrados en el alumno empieza en nuestra enseñanza, pero también sigue en el plano administrativo”, señaló el decano de la FIUBA, Ing. Alejandro M. Martínez, en la inauguración de la oficina de la Dirección de Alumnos ubicada en la sede de Av. Las Heras 2214, realizada en los últimos días de marzo.

04

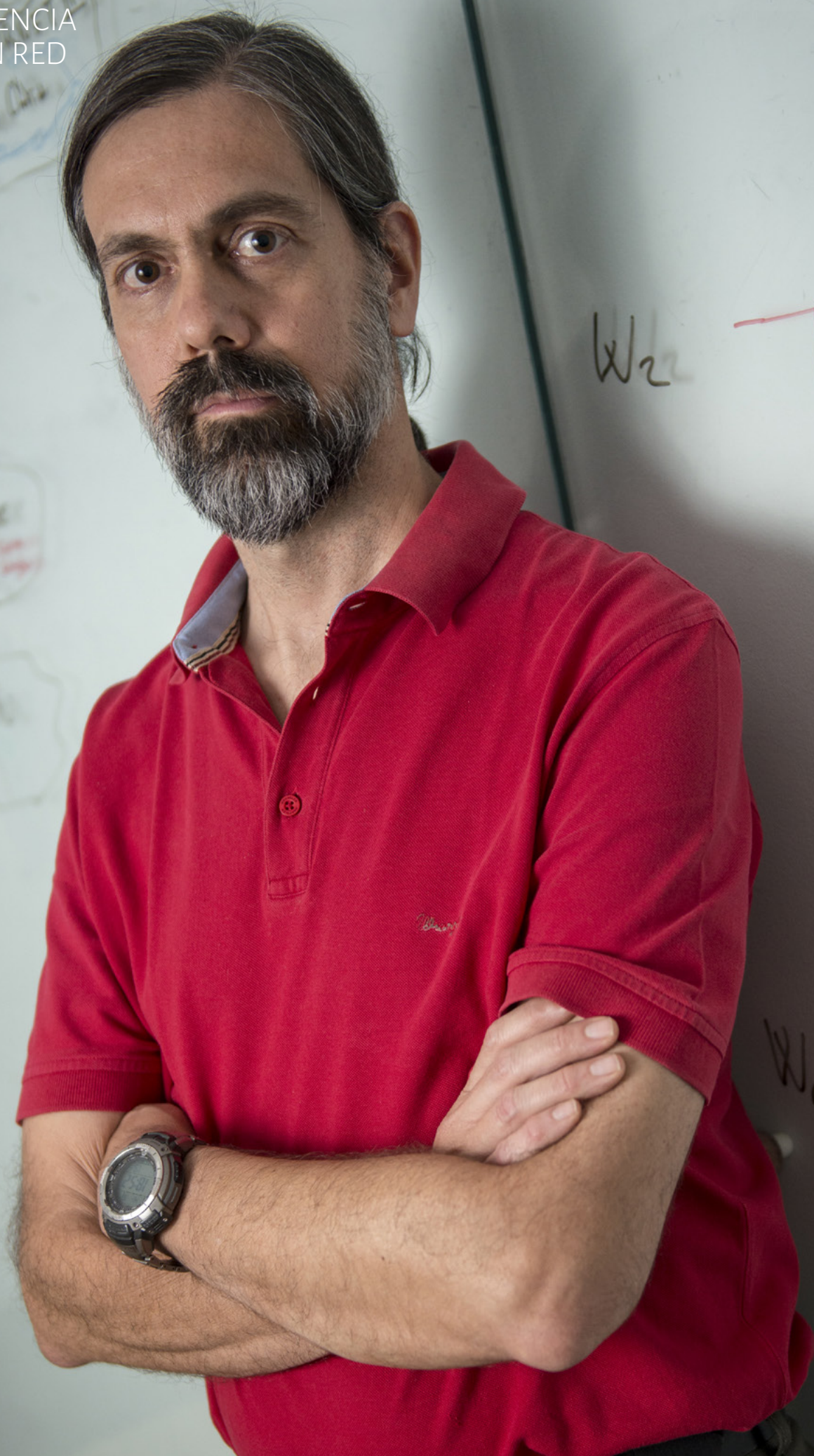
Mejora en los tiempos de entregas de títulos

La FIUBA ha puesto en marcha el proyecto de mejora en los tiempos de entregas de títulos con el objetivo de reducir el tiempo de duración del trámite y de poder brindar un servicio de calidad a su comunidad. La implementación de una funcionalidad de seguimiento del trámite de título en el SIU Guaraní, el aumento del número de juras por mes; el pretrámite de título para todos aquellos estudiantes que sólo deban dos materias para recibirse y la incorporación de la firma digital, son algunas de las mejoras ya implementadas.



CIENCIA
EN RED

.ing | 06 | 07



Anatomía de las redes

El **Dr. Ing. José Ignacio Alvarez Hamelin**, director del Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos, detalla el *hardware*, *software* y protocolos detrás de internet, y explica por qué el análisis de la interacción en las redes se concibe como una actividad dinámica.

En el envío de un correo electrónico o cuando buscamos en Google alguna noticia, mientras miramos un video en Youtube, mientras compartimos una publicación en Facebook o cuando en WhatsApp recibimos un mensaje; detrás de todas esas actividades en internet, existe una infraestructura que el usuario desconoce: ruteadores, conmutadores, cables de fibra óptica, enlaces inalámbricos y protocolos como el TCP o IP, que a través de un lenguaje de códigos permiten el intercambio de información entre aplicaciones, programas, redes o sistemas operativos. Desmenuzar el tráfico de datos en la red, el comportamiento de los sistemas y sus protocolos, parecería a simple vista una tarea inabarcable en tiempos de sobreabundancia informativa y digitalización creciente. Pero en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la UBA, cualquier problema se traduce en desafío. Así lo evidencia el Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos, un área de investigación donde el esqueleto de internet y las relaciones de sus agentes, se convierten en objeto de estudio.

Al ser consultado por *.ing* acerca de los ejes con que abordan el campo de las comunicaciones, el Dr. Ing. José Ignacio Alvarez Hamelin, director del

grupo y actual subsecretario de Planificación en Investigación y Doctorado de la facultad, explica que la actividad sigue dos grandes líneas de investigación. “La primera se dedica al estudio de parámetros físicos en la red, principalmente a la demora entre distintos puntos de internet. Esto nos permite conocer el grado de congestión de la red, o bien la calidad de un proveedor particular del servicio. La segunda se basa en el estudio de los sistemas complejos e indaga en los comportamientos emergentes que surgen de la interacción de los entes individuales y simples que componen la red. Las redes sociales son un claro ejemplo. En ellas muchas veces se gestan distintos procesos de formación”, dice.

Graduado en 1996 de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UBA, beneficiario de las becas Peruilh y Alfa Cordial, doctorado en Informática por la Universidad de París-Sur en 2002 e integrante del CONICET desde 2006, Alvarez Hamelin argumenta que si bien la investigación de las comunicaciones de datos no es el ámbito más propicio en lo que hace a la transferencia de conocimiento, los trabajos del grupo en torno a la medición de internet y al estudio de sistemas complejos generan un impacto a nivel socio-económico.

Página anterior:
Dr. Ing. José Ignacio
Alvarez Hamelin.

“En colaboración con el Instituto Antártico Argentino, se instaló en el verano de 2019 una sonda RIPE-Atlas en la Base Carlini de la Antártida, que amplía el conocimiento de la conectividad de internet. Por otro lado, estamos poniendo a punto un sistema de medición de la calidad de internet domiciliar para ser utilizado por usuarios finales. El mismo mide en forma continua y con baja carga, contrario a los estándares, que miden de manera puntual y saturando la conexión. Sobre la temática de redes complejas, y dada su relación con la ciencia de datos, existen posibilidades de producir aplicaciones que muestren, por ejemplo, las tendencias en procesos electorales a partir de las publicaciones de Twitter”, describe el investigador.

Con respecto al patentamiento de sus desarrollos, dice Alvarez Hamelin que han logrado registrar un sistema de transmisión segura a partir de un trabajo con el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), que también se presentó en el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (TCP) y, posteriormente, como patente europea.

“Además, solemos participar de las reuniones anuales del Argentine Network Operators Group (ARNOG) y hemos dado cursos sobre el funcionamiento técnico de internet en la Diplomatura en Gobernanza de Internet de la Universidad de San Andrés. A nivel internacional, participamos del Internet Engineer Task Force [IETF], que es el organismo que normaliza los protocolos de internet. Allí tenemos dos propuestas presentadas: una sobre la medición de distintos caminos y otro sobre la sincronización de relojes”, agrega el también director del Laboratorio Abierto del Departamento de Electrónica (LABI), un espacio de actividades

prácticas donde los alumnos pueden desarrollar su trabajo final, participar de los clubes de Robótica y de Radiofrecuencias o adquirir herramientas para encarar algún proyecto.

El perfil de los integrantes del Grupo de Redes Complejas y Comunicación de Datos reúne investigadores formados, docentes de los departamentos de Electrónica y Computación de la facultad, doctorandos y tesisistas de grado. En general, la formación inicial de sus miembros está relacionada con las ciencias de la computación, la electrónica o la estadística, aunque la mayoría llega al espacio con una base de ingeniería.

En cuanto a los recursos disponibles, señala Alvarez Hamelin que el equipo de trabajo suele presentarse a las convocatorias destinadas a proyectos de investigación en tecnología, tanto a escala nacional como internacional. A su vez, en el caso de los estudiantes, se cuenta con el apoyo de las becas de doctorado financiadas por el CONICET, la UBA o la misma FIUBA, a través de las becas Peruih.

Desde su rol de integrante del campo científico y de formador de profesionales en esta Casa de Altos Estudios, Alvarez Hamelin opina que, por más que no se trate de una cuestión sencilla, profundizar la articulación entre la universidad y el sector industrial es una cuenta pendiente de cara al futuro de la ingeniería argentina. “En ciertas áreas no se produce el intercambio, porque hay poco desarrollo industrial, o bien porque falta algún mediador entre ambos. También hay una falta de cultura de estas relaciones, que como ingenieros tenemos que desarrollar”, reflexiona ■

“Tenemos dos grandes líneas de trabajo: la primera se dedica al estudio de parámetros físicos en la red. La segunda se basa en el estudio de los sistemas complejos”.

Visualización de internet mediante la herramienta LaNet-vi (http://lanet-vi.fi.uba.ar/l_am_here), basada en la descomposición de k-núcleos.

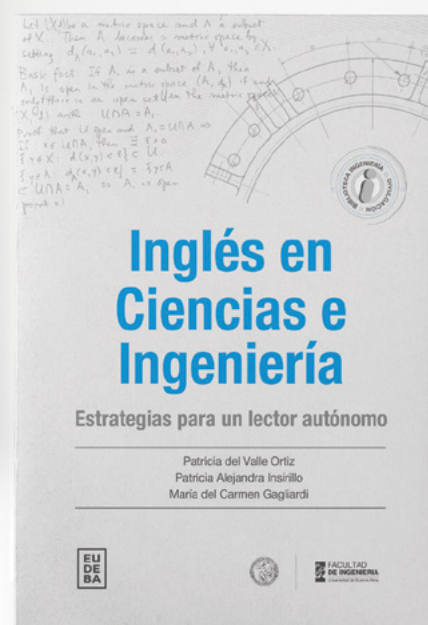
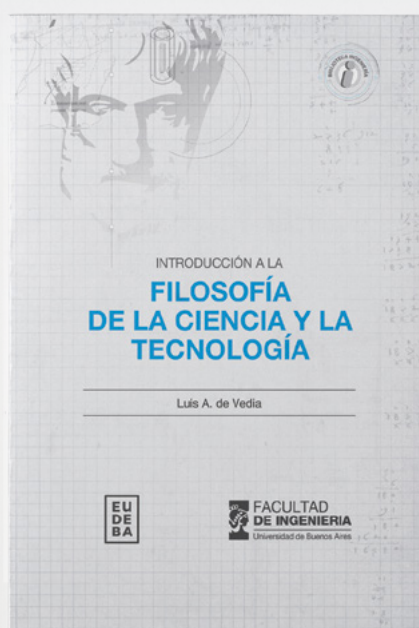
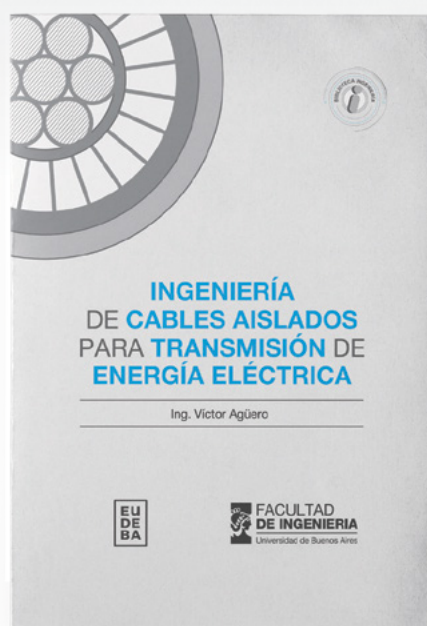


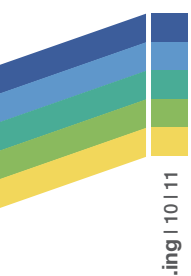


COLECCIÓN

Biblioteca Ingeniería

Últimos títulos:





CIENCIA
EN RED

.ing | 10 | 11





Inteligencia artificial: el futuro ya llegó

El Dr. Ing. César Caiafa le cuenta a *.ing* las últimas técnicas para conocer el funcionamiento del complejo cableado cerebral.

Machine learning, aprendizaje automático, o bien lo que se conoce como “inteligencia artificial”, es la temática central que engloba las investigaciones del Dr. Ing. César Caiafa; un trabajo científico que consiste en desarrollar modelos matemáticos y algoritmos para procesar señales con estructura multidimensional, que suelen aparecer en diversas aplicaciones científicas y tecnológicas, desde las neurociencias hasta la astronomía.

El conectoma humano y una técnica para la codificación eficiente del “cableado” cerebral constituyen uno de los principales ejes de su trabajo. Se trata de un proyecto que surgió de su colaboración con el Departamento de Neurociencias de la Universidad de Indiana, donde realizó una estadía de dos años como investigador posdoctoral. “En el cerebro existen dos tipos de tejido claramente diferentes –grafica el Dr. Ing. Caiafa–: la materia o sustancia gris [corteza cerebral] compuesta por neuronas y organizada en regiones donde se procesa información y, por otro lado, la sustancia blanca, compuesta por axones recubiertos con mielina que actúan como ‘cables’, que conectan distintas regiones de la corteza. Estas conexiones, denominadas ‘fibras’, están parcialmente desarrolladas al momento del nacimiento y continúan desarrollándose hasta la adultez. El conectoma es una descripción detallada de todas las fibras en la sustancia blanca incluyendo sus trayectorias e identificando las regiones que conectan”.

Los conectomas son estimados a partir de imágenes de resonancia magnética utilizando algoritmos de tractografía que analizan las señales de difusión en todo el volumen de la sustancia blanca detectando las orientaciones de las fibras en cada punto. “Sin embargo, existe un problema con los algoritmos de tractografía ya que los conectomas obtenidos dependen del algoritmo y de los valores de los

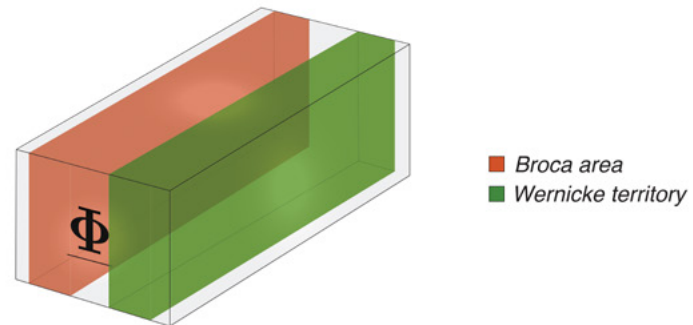
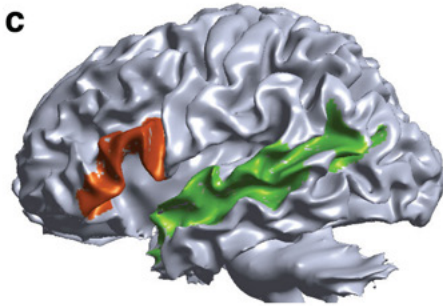
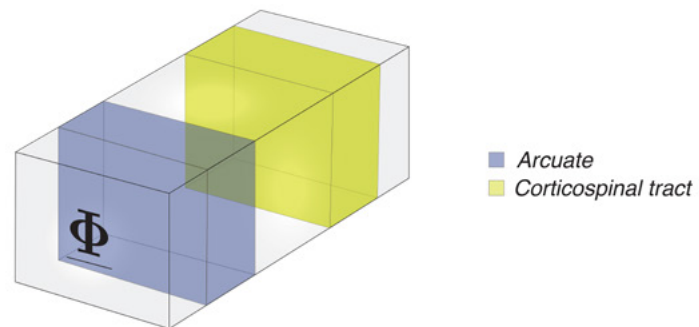
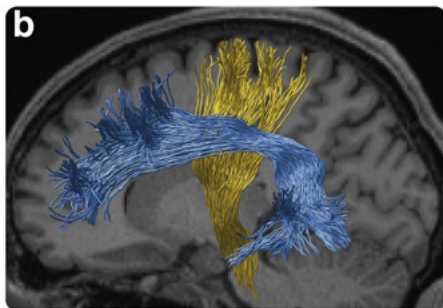
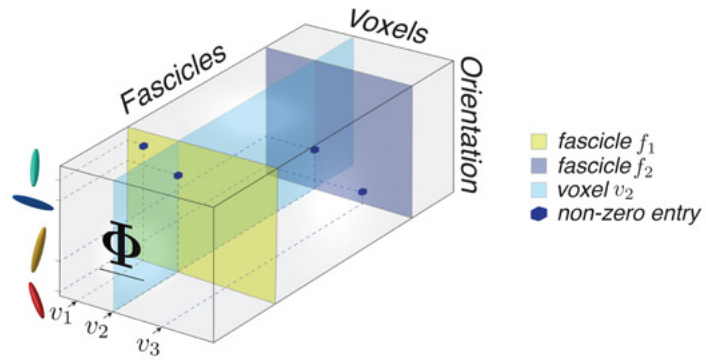
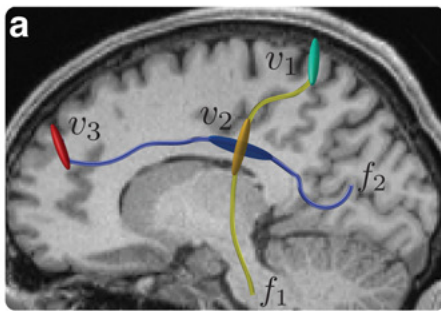
parámetros utilizados. Es decir, que los resultados obtenidos con un único algoritmo de tractografía no son confiables”, señala el entrevistado para luego indicar que a fin de resolver el problema de la alta variabilidad de conectomas, Franco Pestilli y colegas de la Universidad de Stanford propusieron el método LiFE [Linear Fascicle Evaluation, Nature Methods, 2014], en el cual las fibras son evaluadas en función de su relevancia en las mediciones permitiendo eliminar fibras que son ficticias, o sea, que no contribuyen a la evidencia registrada en las imágenes de resonancia magnética. Sin embargo, la implementación de LiFE en su versión original era computacionalmente muy costosa donde para procesar un solo cerebro se requería de cerca de 40 GB de memoria y un tiempo de cálculo de entre una semana y diez días.

“El objetivo principal de este proyecto, que llevé a cabo durante mi estadía en la Universidad de Indiana, fue desarrollar modelos basados en descomposiciones tensoriales que permitieran operar con conectomas de manera eficiente, tanto desde el punto de vista de memoria utilizada, como de tiempo de cálculo”, dice.

Nadie puede negar que en los últimos años, las neurociencias han tomado un fuerte interés en la sociedad, incluso en los medios masivos de difusión. Cuando .ing le pregunta a Caiafa si aún queda mucho por investigar, su respuesta es tajante: “Absolutamente”. Y argumenta: “Por citar un ejemplo, hace no muchos años, digamos veinte o treinta, se creía que la sustancia blanca tenía un carácter pasivo y estático en el funcionamiento del cerebro, sin embargo, estudios recientes demostraron que hay diferencias en la sustancia blanca entre personas con distintas características o afecciones y que estas conexiones también se adaptan durante el proceso de aprendizaje de una determinada actividad como, por ejemplo, aprender a tocar el piano. Durante los últimos años ha habido un gran auge en el estudio de conectomas en el contexto de ‘redes complejas’ que dio origen a una nueva área de investigación en neurociencias denominada ‘Conectómica’”.

La idea de Caiafa es estudiar el cerebro como una red donde distintas regiones de la corteza (materia gris) funcionan como centros de cómputo (nodos) y las fibras (sustancia blanca) actúan como *links* entre nodos. “Uno de los factores que impulsaron el desarrollo de la conectómica es el avance en la técnica de resonancia magnética de difusión o DWMRI (Diffusion-weighted magnetic resonance

El factor tecnológico es actualmente fundamental para lograr avances en el conocimiento sobre cómo funciona nuestro cerebro.



imaging) la cual permite obtener conectomas *in vivo* de manera no invasiva. La tecnología DWMRI permite medir las direcciones en que las moléculas de agua se mueven dentro del cerebro. De esta manera, se pueden estimar indirectamente las trayectorias de las fibras en la sustancia blanca ya que el movimiento de las moléculas de agua se encuentra restringido por la estructura del tejido celular de las fibras. Hoy en día, el trabajo en neurociencias requiere de la participación de profesionales con distintas disciplinas, desde médicos y biólogos hasta matemáticos e ingenieros ya que el factor tecnológico es actualmente fundamental para lograr avances en el conocimiento sobre cómo funciona nuestro cerebro”,

Ilustración de ENCODE (*):
(a) Las fibras de un conectoma son codificadas como nodos en un tensor 3D.
(b) Grupos de fibras (tractos) son codificados en bloques frontales.
(c) Regiones de la corteza cerebral (voxels) son codificados en bloques laterales
 (*) Publicada previamente en el artículo “Multidimensional Encoding of Brain Connectomes”, en *Nature Scientific Reports*.
 Imagen de las páginas 10-11: el conectoma humano. Los principales tractos han sido identificados con diferentes colores.

dice el entrevistado, subrayando el carácter multidisciplinario de la ingeniería del siglo XXI.

Caiafa es ingeniero electrónico de la Universidad de Buenos Aires (1996) y doctor de la Universidad de Buenos Aires, área Ingeniería (2007). Es investigador independiente, IAR-CONICET; investigador visitante, Artificial Intelligence Project (AIP)-RIKEN, Tokio, Japón y profesor adjunto en la FIUBA. Es autor de más de treinta publicaciones en revistas internacionales con referato. “Inicié mi actividad de investigación con mi tesis de grado en 1995 sobre modelos matemáticos para el procesamiento de imágenes. Regresé a esta Casa de Estudios para hacer investigación como becario doctoral con una beca Peruhil en el período 2004-2007. Luego de una estadía posdoctoral en Japón volví a la Argentina como investigador de CONICET colaborando con las investigaciones de nuestro Instituto de Ingeniería Biomédica y otros laboratorios de la facultad, actividad que continúo hasta la fecha”, cuenta, a modo de introducción personal sobre su recorrido científico.

Su trabajo de investigación es financiado por CONICET a través de su salario de investigador. “Lamentablemente, existen cada vez menos recursos destinados para la investigación, por lo que es muy difícil acceder a ellos y cuando accedemos, estos son muy escasos y desactualizados por la inflación y la devaluación constante del peso”, confiesa. Para ilustrar la validez y el reconocimiento internacional de su trabajo, puede decirse que el proyecto sobre ENCODE fue financiado por líneas de investigación estadounidenses como la

National Science Foundation y el National Institutes of Health. Actualmente, también colabora con el Instituto de Ingeniería Biomédica de la FIUBA, desde donde disponen de “recursos limitados para la investigación” y que son otorgados por la Agencia de Promoción Científica y la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UBA.

En 2017, Caiafa publicó un artículo en la prestigiosa revista *Scientific Reports* de Nature, presentando el modelo y *software* ENCODE, que puede codificar la información de conectomas en una estructura multidimensional. ENCODE es un modelo matemático que permite relacionar la información de las fibras que componen un conectoma (mapa de conexiones en el cerebro) con las imágenes de resonancia magnética de difusión registradas en un sujeto. “Por un lado, la información de las fibras que componen un conectoma es representada como coordenadas dentro de un tensor [figura (a)] que permite almacenar de manera eficiente el conectoma y realizar operaciones manipulando distintas dimensiones del tensor. Por otro lado, el modelo obtiene predicciones de las señales de DWMRI a través de una operación matemática [descomposición tensorial], lo cual permite aplicar el método LiFE para evaluar estadísticamente conectomas eficientemente. Además, ENCODE representa una herramienta muy útil para conectómica ya que el tensor permite una representación natural de conexiones [figura (b), subvolumenes frontales] y nodos [figura (c), subvolumenes laterales]”, especifica el Dr. Ing. Caiafa ■



Dr. Ing. César Caiafa.



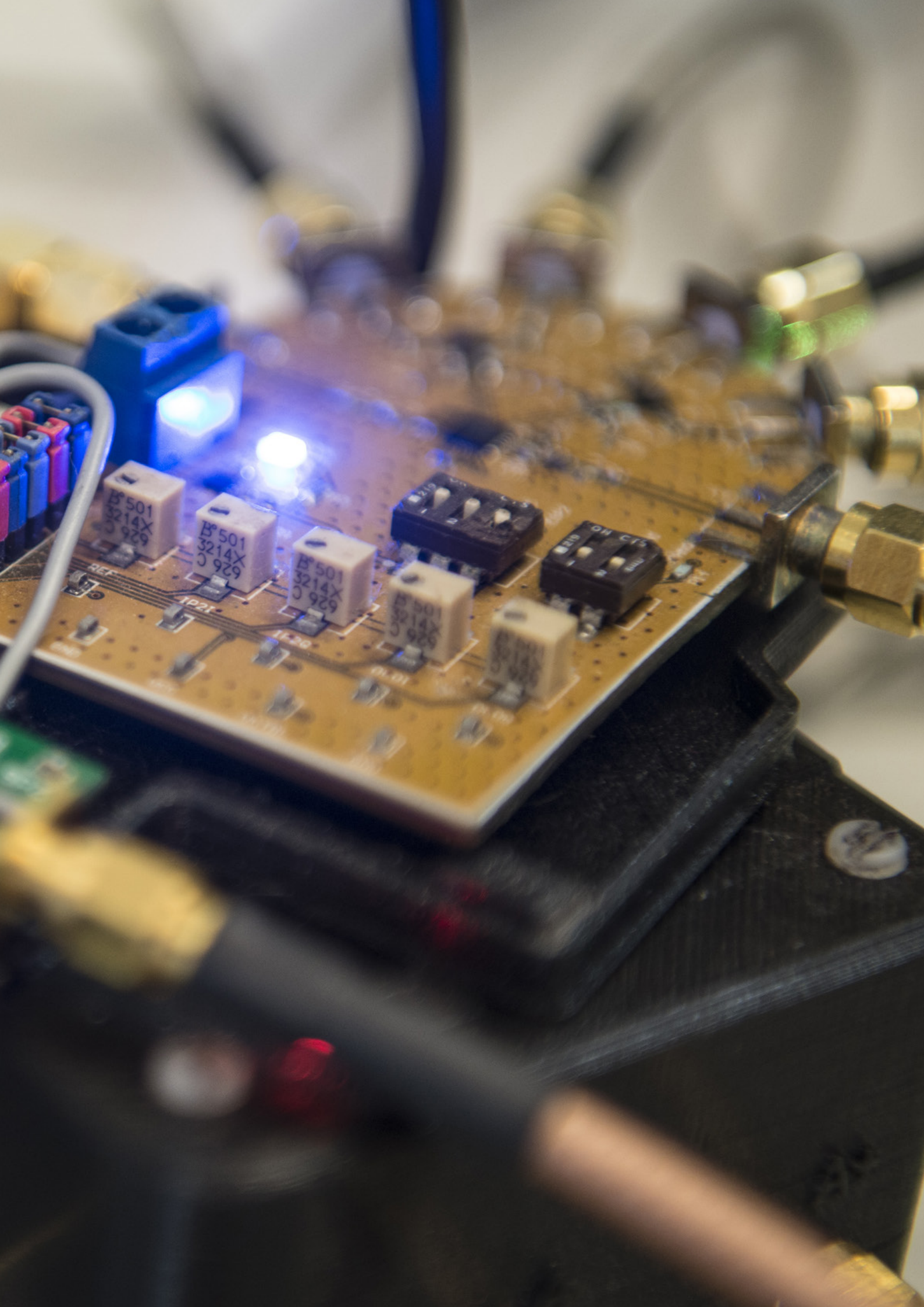
Plan! 2020

**La FIUBA relanza su
propuesta académica**



Electricidad y datos en un mismo cable

Entrevista a la **Dra. Inga. Cecilia Galarza**, actual directora del Laboratorio de Procesamiento de Señales en Comunicaciones, un espacio de investigación científica dedicado a conocer las potencialidades que brindan las redes eléctricas.



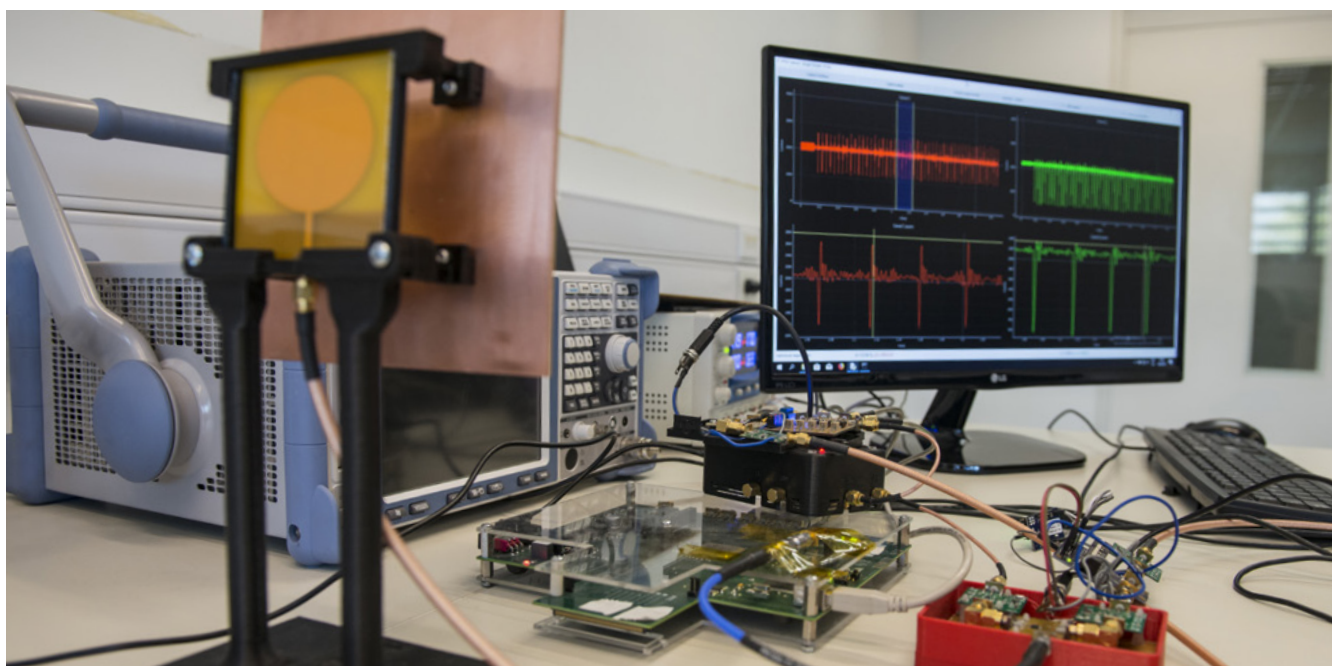
El concepto de redes eléctricas inteligentes o redes eléctricas avanzadas surge a partir del crecimiento del consumo eléctrico y la necesidad de incorporar mayor confiabilidad en los esquemas de operación de las redes. Por otro lado, y debido a los desastres provocados por el cambio climático, está la necesidad de incorporar fuentes de energía menos contaminantes, como ser aquellas que se nutren de fuentes renovables de energía. Todo esto lleva a redes de potencia más complejas que requieren de nuevos desarrollos.

Este es el panorama que traza la Dra. Inga. Cecilia Galarza, actual directora del Laboratorio de Procesamiento de Señales en Comunicaciones (LPSC), quien indica que una de las principales características de estas redes es la incorporación de sensores e instrumentos de medición sobre la red de potencia. “Estos sensores, a su vez, están interconectados entre sí, formando una red de comunicación particular. De este modo, una red eléctrica inteligente tiene dos redes que interactúan entre sí, una de potencia y una de comunicación que transmite los datos sensados. Otra de las características interesantes es la posibilidad de incorporar generación de potencia distribuida entre distintos nodos de la red. Así mismo, se puede incorporar el concepto de almacenamiento distribuido, equipando a distintos nodos de la red con elementos de almacenamiento. Es más, en algunos casos, los usuarios pueden actuar

como consumidores, pero también como productores de energía e inyectar potencia en la red. Nuevamente, para un correcto funcionamiento, se requiere la incorporación de elementos de medición sobre la red y el diseño de algoritmos de procesamiento que puedan utilizar dichas mediciones para realizar mantenimiento preventivo, detección de fallas, mayor uso racional de la energía, entre otras cosas”, dice.

Galarza es ingeniera electrónica graduada en la FIUBA y realizó su doctorado en la Universidad de Michigan-Ann Arbor, en Estados Unidos. Al terminar esos estudios, ingresó en el Lucent Bell Labs en Murray Hill, en el estado de Nueva Jersey y en Voyant Technologies, en Santa Clara, California. Al regresar al país, en 2003, se incorporó a la FIUBA como profesora del Departamento de Electrónica y a la carrera de investigadora. En la actualidad, es profesora asociada de la UBA, investigadora independiente del CONICET y dirige el Centro de Simulación Computacional para Aplicaciones Tecnológicas, que es una unidad ejecutora.

Cuando .ing le pide una opinión sobre la capacidad de desarrollo local en perspectiva con el ámbito científico internacional, a partir de la posible exportación de este tipo de tecnología, Galarza confirma que la Argentina tiene recursos formados para desarrollar tecnología para las redes eléctricas avanzadas. “Hay varios grupos de investigación en el país que están trabajando

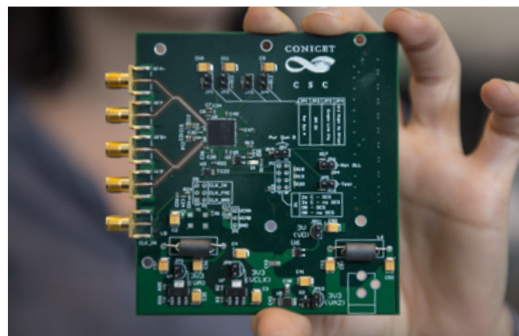


Interfaz gráfica donde se observan los pulsos transmitidos y recibidos por la plataforma UWB.

con muy buen nivel en este tema. Tanto en algunas universidades públicas (UN Mar del Plata, UN La Plata, UN San Juan, UN Río Cuarto), como en institutos nacionales (INTI), hay investigadores que están trabajando en este tema y publicando en revistas internacionales. Para potenciar estas capacidades, sería interesante poder acceder a una política pública que fomente la interacción entre el sector privado y los grupos de investigación para estimular un desarrollo acorde con las inversiones previstas en el país en esta área”, dice. Y agrega: “En lo que respecta a la exportación de conocimiento, quiero destacar que tenemos planeado adecuar el Phasor Measurement Unit [PMU] que desarrollamos dentro del proyecto Fondo Argentino Sectorial [FONARSEC] para que pueda operar tanto en 50 Hz como en 60 Hz y de ese modo pueda ser utilizado en otras partes del mundo”.

El Laboratorio de Procesamiento de Señales en Comunicaciones que lidera se formó a partir del grupo de tesis y becarios que ingresaron desde 2006. “En ese momento –recuerda Galarza–, formábamos un grupo que estaba iniciando su acercamiento al área de las comunicaciones a través del procesamiento de señales, de ahí el nombre del laboratorio. A medida que fue pasando el tiempo, se fueron incorporando más estudiantes, los tesis fueron terminando sus estudios, y el equipo de trabajo se fue ampliando tanto en gente como en temáticas trabajadas”.

En la actualidad, el LPSC está integrado por cuatro investigadores formados: Leonardo Rey Vega, Andrés Altieri, Juan Augusto Maya y la misma Galarza, cada uno dirigiendo distintas líneas de trabajo. Si bien el trabajo en equipo sigue siendo la regla, cada uno de estos investigadores dirige líneas de investigación que le son propios. “Por ejemplo, Andrés Altieri está dedicado al desarrollo del *hardware* de sistemas de Radio Frecuencia de ancho de banda ultraamplio [UWB] y en el desarrollo e implementación de sus algoritmos de procesamiento de señales. Por otro lado, Juan Augusto Maya está investigando sobre la aplicación de técnicas de procesamiento de la información a problemas de sensado remoto utilizando GPR (Ground Penetrating Radar). Leonardo Rey Vega está interesado en los problemas de aprendizaje estadístico, en particular en el estudio de métricas de generalización en sistemas de aprendizaje utilizando técnicas e ideas del campo de la teoría de información. Por último, yo estoy trabajando en problemas de sensado no invasivo utilizando señales UWB, en particular en el pro-



Pablo Marchi, estudiante doctoral, haciendo simulaciones para el proyecto de Smart Grid.

Circuitos diseñados en el CSC para la plataforma UWB.

cesamiento de las señales recolectadas durante experimentos de clasificación de material dieléctrico. Un tema que atraviesa a casi todos los integrantes del laboratorio son las Redes Eléctricas Avanzadas, tema en el cual hemos realizado algunos desarrollos prácticos”.

Hace unos años, el LPSC participó de un proyecto FONARSEC financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), cuyo objetivo fue el diseño e implementación de un sistema de medición fasorial para redes eléctricas de transmisión. El proyecto estaba dirigido por el Dr. Héctor Laiz, egresado de FIUBA y gerente del INTI. El consorcio al frente del proyecto estaba formado, además de los investigadores de este laboratorio, por un grupo de investigadores del INTI, otro de la UNLP, ingenieros de Computec y una PyME del sector ubicada en Concordia, Entre Ríos, que sería la responsable de la comercialización del producto obtenido.

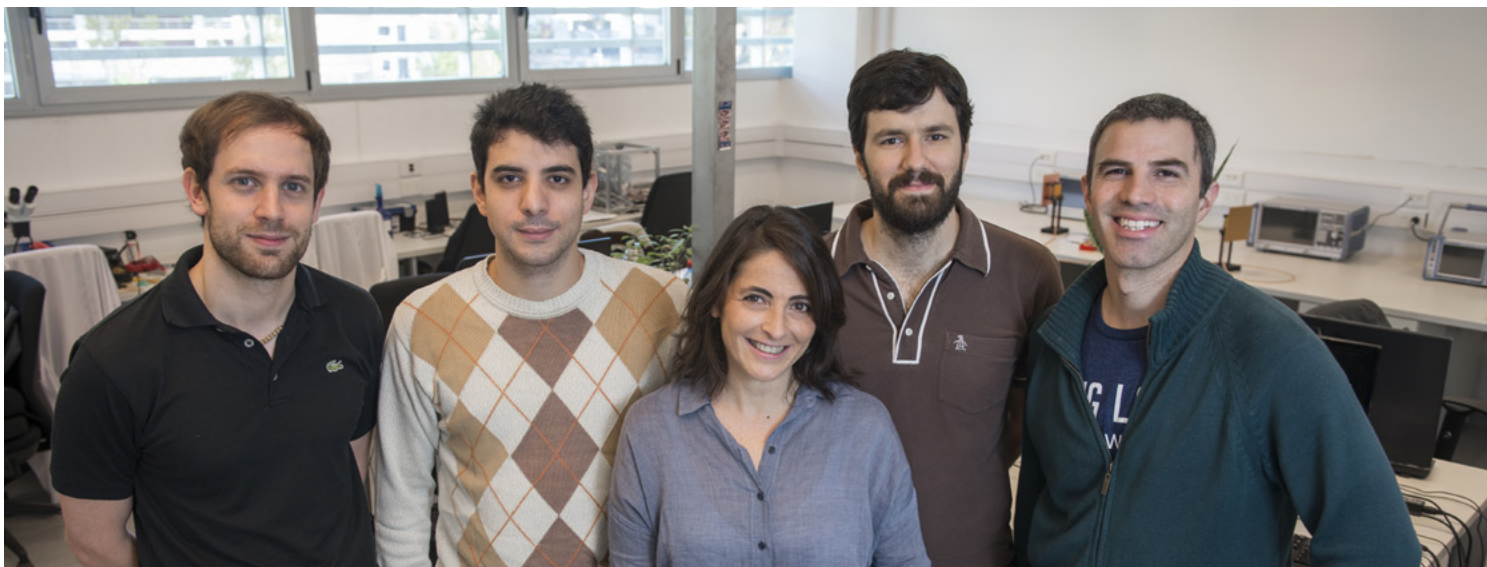
Un investigador es exitoso cuando sus resultados estimulan a nuevas generaciones de investigadores. Y esto sólo es posible cuando el sistema de organización y financiamiento es previsible y permite planificar a largo plazo.

Además, el grupo de investigación de Galarza fue el responsable del diseño e implementación de un instrumento de medición fasorial llamado PMU, que determina el valor instantáneo del fasor de tensión y de corriente eléctrica. “La novedad de estos instrumentos es que tienen una referencia temporal universal que permite relacionar las mediciones en puntos alejados de la red. Por otro lado, los PMU adquieren datos a una tasa mucho más elevada que la utilizada en los sistemas tradicionales SCADA, implementados en la actualidad. El proyecto de desarrollo del PMU consistió en el diseño de algoritmos de estimación y su posterior implementación como sistema embebido en la plataforma computacional especificada por Computec. En este caso, el desafío del proyecto fue que el diseño del instrumento de medición debía satisfacer el estándar específico de la IEEE, y luego ser implementado con las restricciones solicitadas por Computec. Finalmente, después de cinco duros años de trabajo, la em-

presa Computec pudo presentar el primer prototipo de PMU, cuyo núcleo central era el algoritmo desarrollado por nuestro grupo de trabajo”.

El “análisis, diseño e implementación de una plataforma inalámbrica de ancho de banda ultra grande [UWB]”, es otra fuerte línea de investigación. Explica la entrevistada que en este caso los objetivos son dobles, ya que consiste en la construcción del *hardware* y en el diseño de los algoritmos de procesamiento de señales. “Las señales UWB son señales de gran ancho de banda, es decir, contienen un amplio espectro de frecuencias. En particular, nosotros estamos trabajando en el rango de los GHz. Vistas como señales en el tiempo, las señales UWB son un pulso muy angosto en el tiempo, casi como una ‘delta de Dirac’. Cuando un generador de señales de este tipo se conecta a una antena, se genera un campo eléctrico que se desplaza como una onda transversal en el espacio. Cuando dicha onda alcanza un blanco particular, se generan corrientes superficiales y dentro del volumen del blanco que a su vez provocan una modificación del campo eléctrico conocida como respuesta del blanco. En una primera aproximación, uno puede pensar que un blanco estático reacciona como un sistema lineal invariante en el tiempo. Al recolectar la respuesta del blanco a un pulso UWB se está observando la respuesta impulsiva del blanco. Esta es una característica única que define al blanco y puede ser utilizada para su identificación. El proyecto utiliza este principio para proponer una novedosa técnica para clasificar dieléctricos. En particular, estamos interesados en diferenciar niveles de humedad en materiales. Las aplicaciones de esta técnica son muchas, en particular dentro del área de la agroindustria y de la alimentación. En la actualidad, la plataforma de *hardware* ya está finalizada y estamos comenzando a realizar las primeras tomas de mediciones experimentales”, resume Galarza.

Habitualmente, desde las páginas de .ing se suele preguntar a cada científico y científica entrevistados para transmitir sus experiencias, sobre el vínculo entre la universidad pública, el Estado y el sector privado. En este sentido, la opinión de Galarza es contundente al responder que se trata de una pregunta “un poco complicada de responder, dada la coyuntura actual. En los últimos años, el presupuesto de ciencia y tecnología ha disminuido sensiblemente. Es llamativo que en este momento, el monto del subsidio de mayor envergadura al que puede acceder un investigador en la Argentina sea menor a USD 10.000



De izquierda a derecha: Pablo Marchi (estudiante doctoral), Juan Zuloaga Mellino (estudiante doctoral), Andrés Altieri (Prof. Adjunto), Juan Augusto Maya (Prof. Adjunto) y la Dra. Inga. Cecilia Galarza.

por tres años. Me estoy refiriendo a los Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica [PICT] financiados por la ANPCyT. En esta conyuntura es muy complicado sostener en el tiempo líneas de investigación relevantes”.

La Dra. Inga. Galarza afirma que la universidad pública no queda al margen de esta problemática. Sostiene que si bien la UBA impulsa la investigación científica y tecnológica, y mismo, en algunos casos, ha mitigado el efecto de los recortes presupuestarios en otros organismos (CONICET, por ejemplo), este esfuerzo no alcanza. “Es crítico entender que para construir y sostener un sistema científico se requiere estabilidad en el tiempo. Un investigador es exitoso cuando sus resultados estimulan a nuevas generaciones de investigadores. Y esto sólo es posible cuando el sistema de organización y financiamiento es previsible, y permite planificar a largo plazo. En la Argentina, el financiamiento del sistema de investigación es principalmente estatal. En este momento, este rubro ha sufrido una disminución drástica, que ha llevado a algunos grupos de investigación del país a cerrar líneas de trabajo. Como ingeniera y como investigadora puedo asegurar que a diferencia de una línea de producción, cuando una línea de investigación se cierra, no se vuelve a levantar. Me parece que muchos dirigentes políticos no son conscientes de esto y no pueden dimensionar el enorme daño que se está produciendo en este momento en el sistema científico”, opina ■

Nuevas plataformas

La nueva línea de investigación del LPSC que se inició hace varios años fue motivada por la necesidad de volcar en una aplicación concreta algunas de las herramientas que habían sido desarrolladas dentro de un marco teórico. Así surgió la idea de trabajar con una plataforma de sensado que utilizara señales UWB para caracterizar materiales dieléctricos. En colaboración con el INTI, el grupo desarrolló e implementó los circuitos de RF que operan en el rango de 2 a 4 GHz. En total, fueron dos plataformas experimentales que fueron diseñadas para trabajar en rangos complementarios. En la actualidad, el equipo de trabajo está utilizando dichas plataformas para determinar el nivel de humedad de diversos materiales en forma no invasiva. Más allá de los resultados científicos que se obtendrán con la plataforma, el proyecto UWB es un nuevo espacio de la FIUBA en el que los estudiantes se pueden acercar a los sistemas de RF de altas frecuencias. De este modo, varias tesis de grado se han desarrollado y se están desarrollando en el marco de este proyecto.



La matemática de los comportamientos

En diálogo con .ing, el **Dr. Ing. Facundo Caram** describe el impacto de los desarrollos que se llevan adelante desde el Laboratorio de Redes y Sistemas Móviles.

Facundo Caram todavía no se había doctorado en el área de Ingeniería de la UBA cuando comenzó a pensar en dedicarse de lleno a la investigación y la docencia. Por entonces trabajaba como ingeniero consultor en una empresa de telecomunicaciones y, desde 1996, se desempeñaba parcialmente en el Laboratorio de Dinámica de Sistemas Complejos del Departamento de Computación. El mundo de las grandes corporaciones lo aburría. Fue así que,

una vez doctorado en 2010 por su tesis sobre la “dinámica de sistemas multiagentes y aplicaciones”, Caram se decidió por lo que más le gustaba: en octubre de 2012, comenzó a trabajar a tiempo completo en el Laboratorio de Redes y Sistemas Móviles, dependiente del Departamento de Electrónica.

Como detalla Caram –quien además es ingeniero electrónico de la UBA y especialista en Gestión de las Telecomunicaciones–, hoy en día su labo-

ratorio cuenta con la colaboración de doctores en ingeniería y en ciencias físicas, profesionales de la ingeniería electrónica e investigadores externos. Sus proyectos suelen sustentarse con fondos impartidos por UBACyT, la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), la FIUBA u otros organismos nacionales y extranjeros; y abarcan temáticas como los sistemas complejos, dinámica no lineal, computación cuántica, redes complejas y complejidad estadística.

“La dinámica de sistemas complejos es un área de la física que estudia el comportamiento global de un conjunto de entes abstractos que interactúan en un entorno para cumplir determinados objetivos. Estos sistemas son anárquicos y su actividad emerge en base a los comportamientos individuales de los distintos agentes. Además, esta temática incluye el estudio de la dinámica no lineal y las redes complejas, que son áreas de la matemática. Por otro lado, para el análisis y caracterización de series de tiempo, se utilizan, entre otras, herramientas como el parámetro de Hurst, que se vincula con la dimensión fractal y determina cuán autosimilar o autosemejante es la serie de tiempo. Finalmente, está la complejidad estadística, que permite determinar el grado de caos que posee la serie de tiempo en el plano de complejidad vs. entropía, relacionando el nivel de entropía de la señal”, describe Caram.

A su vez, según explica este integrante del Laboratorio de Redes y Sistemas Móviles, áreas de investigación como el estudio de los sistemas complejos o las redes complejas son útiles, versátiles y aplicables a distintas disciplinas, tal es el caso de la biología, la sociología, la economía o la ingeniería. “En general, uno puede representar el sistema a estudiar como un conjunto de agentes (entes abstractos, nodos, vértices de una red, etcétera) que se relacionan de acuerdo a determinadas reglas de interacción con una determinada estructura. Esta visión resulta de la idea de que sistemas que en el mundo real parecen muy distintos, son iguales o muy similares matemáticamente. Por ejemplo, el comportamiento de una red de computadoras o teléfonos, un conjunto de células en un organismo, o bien de una sociedad de individuos con recursos escasos”, aclara Caram, que también es docente de los departamentos de Electrónica y Computación y de cursos de maestría y doctorado de la FIUBA.

El área de sistemas complejos estudia, analiza y modeliza los comportamientos de conjuntos de agentes en diferentes disciplinas como la biología, la sociología y la economía.

Por otro lado, al referirse al área de la computación cuántica, Caram señala que se trata de un nuevo paradigma de la ciencia de la computación, que a partir del uso de propiedades de la mecánica cuántica como la superposición y el entrelazamiento cuántico, permite ventajas potenciales en la velocidad de procesamiento de la información frente a una computadora clásica.

“El campo de la computación cuántica se basa en qubits, es decir, bits cuánticos. A diferencia de un bit clásico, que solamente puede tomar dos estados [0 o 1], el qubit es una unidad de medida que puede estar en infinitos estados entre 0 y 1. A su vez, en la actualidad la computación cuántica es concebida en un alto porcentaje como una ciencia teórica, porque las tecnologías para la construcción de una computadora cuántica a gran escala aún están en una fase temprana de desarrollo. De todos modos, es un área con mucho potencial, pues ya existen algoritmos cuánticos y predicciones teóricas que afirman que una computadora cuántica podría quebrar el sistema de encriptado que hoy usan los sistemas de seguridad informática”, cuenta.

Al momento de opinar sobre el vínculo entre la universidad pública y el sector privado, este investigador de la FIUBA responde que la articulación es “prácticamente inexistente”, ya que funcionan como compartimentos estancos, desconectados en casi todas las áreas. “El sector privado no le presta atención a la investigación científica, y por lo tanto no existen sponsors que no sean estatales para financiar el desarrollo de la ciencia, que es lo que a largo plazo agrega valor. Además, el Estado, que en los últimos años ha reducido el presupuesto destinado a la educación, desfinancia a la universidad pública, haciendo más difícil aún la labor académica y científica en el país”, concluye Caram ■



Grupo de Medios Porosos y
Laboratorio del Departamento de Hidráulica

Erosión superficial por barrido hidrodinámico

CARRO MÓVIL

Sistema para el desplazamiento longitudinal de la cortina de *jets* con velocidad ajustable.



JETS

Erosión superficial provocada por el flujo de *jets* incidentes.

PERFIL DEL LECHO GRANULAR EROSIONADO, CON LA FORMA CARACTERÍSTICA DE UN **AVANCE INTERMITENTE DEL SISTEMA DE JETS**.

GRANULADO

En el laboratorio se estudia la erosión de sedimentos con granulometría controlada.



Arena



Microesferas
de vidrio

Radiografía del ensayo de un sistema lineal de *jets* con el que se genera una cortina de flujo con capacidad erosiva

La falta de calado por acumulación de sedimentos en zona de muelles es un problema para el tráfico de embarcaciones.

Cuando el traslado de sedimentos por dragado no es conveniente por la presencia de sustancias contaminantes, el barrido de sedimentos por la acción de *jets* hidrodinámicos es una operación posible.

En este laboratorio de la FIUBA se investiga el proceso en un modelo de dimensiones reducidas.

Caracterización experimental de estructuras mediante vibración ambiente

Santiago Bertero, Mariano Balbi, Raúl Domingo Bertero

Laboratorio de Dinámica de Estructuras de la Facultad de Ingeniería de la UBA

Introducción

En términos generales, durante el diseño y verificación de estructuras suele ser necesario evaluar la respuesta de las mismas a cargas dinámicas. Para ello se utiliza habitualmente el análisis modal. Este requiere el conocimiento de ciertas propiedades de la estructura: las frecuencias naturales, las formas de los modos de vibración y sus factores de amortiguamiento.

La determinación analítica o numérica de las frecuencias propias y los modos de vibración es difícil de realizar con precisión, debido a la dificultad de conocer el grado de fisuración de estructuras de hormigón, las reales condiciones de los vínculos y uniones de la estructura, la rigidez que aportan muros y elementos no estructurales, la masa efectivamente presente en las instalaciones, la flexibilidad de las fundaciones y su interacción con el suelo. A su vez, durante la vida útil, ya sea por deterioro de las uniones o daño estructural, las propiedades pueden cambiar. Estos cambios, por lo tanto, pueden ser utilizados como indicadores y alerta temprana para el mantenimiento preventivo de las estructuras.

Resulta útil, entonces, el proceso de ingeniería inversa consistente en estimar las propiedades estructurales a partir de la medición de la respuesta. Todas las metodologías desarrolladas con este fin se agrupan bajo el nombre de *system identification* (identificación de sistemas). En particular, aquellas metodologías que buscan obtener parámetros modales de una estructura se encuadran en lo que se define como *experimental modal analysis* (análisis modal experimental) o EMA.

Algunas de estas metodologías son conocidas, también, como *input-output models*, ya que requieren conocimiento tanto de la respuesta como

de la excitación. Si bien es aplicable a maquinarias y otras estructuras, su alcance es limitado ya que no siempre es posible conocer la excitación.

En la década del 90 se desarrollaron los primeros *output-only models*, metodologías que trabajan únicamente con la medición de la respuesta. En términos generales, todos los métodos suponen que la excitación es un ruido blanco, hipótesis que tiende a ser correcta cuando la excitación es de banda ancha (es decir con un contenido de energía distribuido en forma uniforme en un rango amplio de frecuencias). El viento y el tránsito carretero y ferroviario son susceptibles de ser considerados de esta forma en muchos casos.

La gran ventaja de estos métodos es que permiten obtener los parámetros modales sin requerir una excitación impuesta. Simplemente es suficiente con la medición de la vibración ambiente. Es por ello que estos métodos se engloban bajo el término de *operational modal analysis* (análisis modal operacional) u OMA, midiendo la respuesta de la estructura durante su estado normal de servicio ("operación") se obtienen los parámetros buscados.

Existen dos grandes corrientes respecto a la forma de implementar estos métodos: los que trabajan en el dominio del tiempo, y los que trabajan en el dominio de la frecuencia. En términos generales, los métodos en el dominio del tiempo trabajan ajustando la respuesta a partir de las correlaciones entre señales, mientras que los métodos en el dominio de la frecuencia utilizan las densidades de potencia espectral. Recordando que la relación entre ambas es la Transformada de Fourier, la información que manejan es la misma, pero representada de distinta forma.

Sin embargo, su aplicación en un dominio u otro tiene características diferentes. Las metodologías en el dominio del tiempo tienen en general un mayor costo computacional y su aplicación puede llegar a ser más complicada por su carácter poco intuitivo. Las metodologías en el dominio de la frecuencia tienen, como se verá más adelante, una interpretación clara y, si bien pueden llegar a ser menos robustas que los métodos anteriores, son más expeditivas. Si bien es cierto que hace algún tiempo se cuestionaba la necesidad de una selección manual de los picos en el dominio de la frecuencia, ya existen formas de automatizar el proceso.

A continuación, se desarrollará en detalle uno de los métodos en el dominio de la frecuencia con su justificación teórica.

Peak-picking

El método PP o *Peak-picking* (“selección de picos”) fue desarrollado tanto por Felber como por Bendat y Piersol en el año 1993 [1, 2]. En el caso de Felber, su objetivo era desarrollar un sistema de evaluación de puentes. El método parte de recordar que, para un grado de libertad r , el movimiento x se puede escribir dado un análisis modal como:

$$(01) \quad x_r(t) = \sum_{i=1}^n \phi_{r,i} y_i(t)$$

siendo $\phi_i > 0$ el modo de vibración i e $y_i(t)$ el movimiento en coordenadas modales. Aplicando la Transformada de Fourier a ambos miembros para pasar al dominio de la frecuencia se obtiene (donde la letra mayúscula indica la transformada de Fourier de la variable correspondiente):

$$(02) \quad X_r(w) = \sum_{i=1}^n \phi_{r,i} Y_i(w)$$

Si los modos se encuentran suficientemente separados y el amortiguamiento es pequeño, entonces, para frecuencias cercanas a una frecuencia natural w_i , es correcto asumir por efecto de la resonancia que con solamente el modo asociado a w_i se obtiene una buena representación del movimiento. Luego, la expresión previa resulta:

$$(03) \quad X_r(w_i) \approx \phi_{r,i} Y_i(w_i)$$

Esto aplica para cualquier grado de libertad que se analice. Por lo tanto, si se hace el cociente entre dos grados de libertad r y s y se toma el módulo resulta:

$$(04) \quad \frac{|X_r(w_i)|}{|X_s(w_i)|} = \frac{\phi_{r,i}}{\phi_{s,i}}$$

Una vez obtenida la relación entre el valor del modo i para dos grados de libertad r y s , se debe definir el signo de ésta. Para ello se trabaja a partir del argumento de un número complejo. En este caso particular, la densidad de potencia espectral cruzada.

Si la densidad de potencia espectral cruzada es un número real positivo, eso implica que ambas señales se encuentran perfectamente en fase (ángulo $\theta = 0$). En ese caso la relación es positiva. Caso contrario, si se encuentran perfectamente fuera de fase (ángulo $\theta = \pi$), la relación es negativa. Para cualquier caso intermedio, se puede trabajar con el argumento de la densidad de potencia cruzada definiendo una función ventana PW. Si el amortiguamiento es clásico (matriz de amortiguamiento ortogonal respecto de las matrices de masa y rigidez), los modos de vibración son números reales y, por lo tanto, los posibles valores de modos estudiados anteriormente debieran estar o completamente en fase o fuera de fase. La función ventana tiene esto en cuenta y descarta como valores de modo de vibración ángulos de fase mayores a un valor de corte (por ejemplo, 20 grados). Con esto, se obtiene:

$$(05) \quad PW_{r,s}(w_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \arg(X_r(w_i) \overline{X_s(w_i)}) \leq 20 \\ -1, & 160 \leq \arg(X_r(w_i) \overline{X_s(w_i)}) \leq 180 \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases}$$

En todas estas expresiones se hace referencia a un valor de frecuencia particular: aquella frecuencia natural que hace entrar en resonancia a un modo de vibración. La forma de identificarlo, que le otorga el nombre al método, es a partir de los picos de las funciones de densidad de potencia espectral.

Sin embargo, como es complejo trabajar con numerosos gráficos de densidades de potencia espectral, uno por cada grado de libertad estudiado, Felber propone trabajar con la densidad de potencia espectral promedio normalizada, ANPSD (de sus siglas en inglés, *Average Normalized Power Spectral Density*), que se define como:

$$(06) \quad ANPSD(w) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n NPSD_j(w)$$

Donde $NPSD_j$ es la normalización de la función de densidad de potencia espectral de cada grado de libertad j . De esta manera, se pueden analizar los datos en un solo gráfico, y así determinar frecuencias naturales para luego obtener las formas de los modos de vibración mediante la ecuación (4).

Acelerómetro LABDIN Pi

Una característica esencial del método de estimación descrito anteriormente es que requiere la medición simultánea en distintos puntos de la estructura. Los acelerómetros utilizados habitualmente en la práctica profesional para la medición de vibraciones tienden a tener costos elevados, por lo que no es factible tener un número suficiente para la correcta estimación de las formas de los modos de vibración. A su vez, se necesitaría de un sistema de cableado para asegurar la sincronización, que implica no sólo un mayor costo, sino también menor flexibilidad durante los trabajos.

Con estas consideraciones, se desarrolló un equipo de medición *wireless*, denominado LABDIN Pi por el Laboratorio de Dinámica de Estructuras de la FIUBA (figura 1). Este equipo fue diseñado a partir de un conjunto de criterios. Por un lado, debía ser de bajo costo para poder contar con un número considerable de los mismos. Por otro lado, debía ser pequeño y liviano para ofrecer mayor

flexibilidad y permitir su colocación en lugares problemáticos. A su vez, requería de un sistema de funcionamiento *wireless* para poder prescindir del cableado durante su instalación y controlarlos en forma remota. Por último, pero no menos importante, debía tener la calidad requerida por los trabajos realizados por el LABDIN, en comparación con los equipos calibrados que posee.

El acelerómetro digital *wireless* LABDIN Pi está compuesto por una computadora Raspberry Pi 3B y un módulo Sense Hat, ambos productos de la Fundación Raspberry. El acelerómetro dentro de este, de denominación LSM9DS1, es un producto de la empresa STMicroelectronics.

El *software* fue desarrollado en el lenguaje de programación Python. Como características principales se pueden mencionar la capacidad de medir aceleraciones con una frecuencia de hasta 238 Hz, y la posibilidad de configurar y comandar el equipo en forma remota a través del programa VNC. Los archivos se guardan en un dispositivo USB conectado al equipo, pero también puede accederse a estos por wifi a través del programa mencionado anteriormente. En cuanto al sistema de alimentación, este fue resuelto mediante baterías de recarga de celulares, conocidas como *power banks*.

En cuanto a su calidad, de los resultados de control contra acelerómetros calibrados se pudo obtener la siguiente curva de *performance* (figura 2).

Debe tenerse en cuenta que, debido a la relación señal ruido, el equipo no debiera ser utilizado para la medición de vibraciones de amplitudes menores a 1×10^{-4} g.

Aplicación a una pasarela peatonal

Una de las consideraciones principales que se debe tener en el diseño de una pasarela peatonal es el confort de las personas al pasar por ella. Es habitual que la geometría requerida por las cargas estáticas sea tal que la frecuencia natural del puente se encuentre en sintonía con la frecuencia de las personas al caminar. La amplificación del movimiento por efecto de la resonancia suele traer aparejado malestar en las personas que hacen uso del puente.

Ese era el caso de una pasarela peatonal en la sede de Mastellone Hnos. S. A. La pasarela –una viga cajón pretensada de hormigón de 1.52 m de alto y una luz entre apoyos elastoméricos de 37.36 m– utilizada habitualmente por los empleados y por estudiantes de primaria durante visitas

Fig. 1:
LABDIN Pi

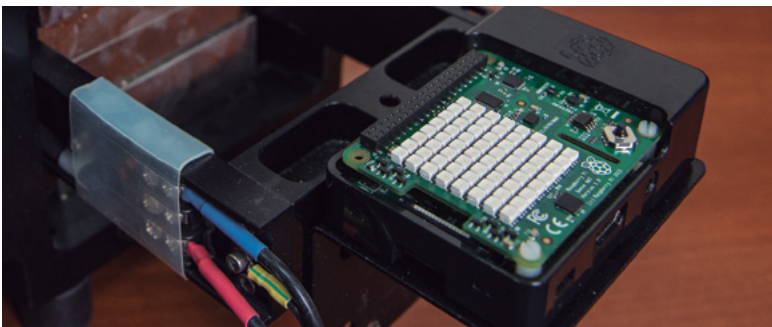
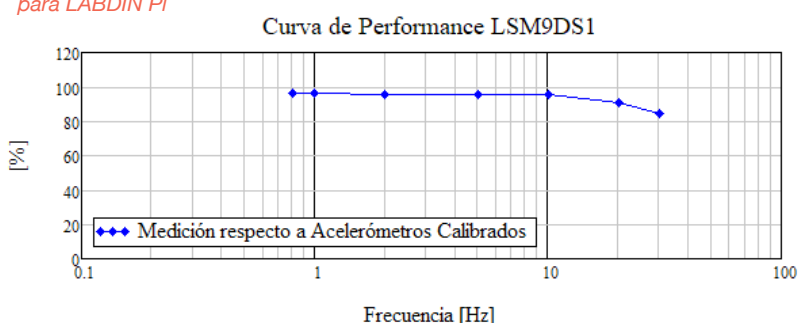


Fig. 2:
Curva de performance
para LABDIN Pi



guiadas, recientemente recibió quejas de malestar de los peatones durante su cruce. Se realizó entonces una campaña de medición sobre el puente para poder caracterizarlo dinámicamente y evaluar su seguridad.

Para realizar las mediciones, se colocaron nueve acelerómetros LABDIN Pi equidistantes a lo largo de la pasarela. En particular, sobre uno de los extremos del tablero, a fin de poder detectar movimientos torsionales y permitir el paso de peatones. Los acelerómetros se numeraron secuencialmente, desde el 1 en un extremo al 9 en el otro. El acelerómetro 5, entonces, responde al centro de tramo. En total se hicieron cuatro ensayos distintos. En primer lugar, se midió la estructura a vibraciones ambiente. Las principales acciones durante la operación del puente son el paso de trabajadores, el paso de grupos escolares, el paso de camiones y otros vehículos por debajo del puente, vibración de máquinas y la acción del viento.

Luego, se estudió el paso de aproximadamente cuarenta empleados por el puente, representando esto una condición de máxima para la sobrecarga. Finalmente, para complementar el análisis dinámico se evaluó la respuesta del puente al efecto de una persona corriendo sobre éste y un grupo de personas saltando en el centro del tramo.

En la figura 3, se muestra a modo ilustrativo las aceleraciones verticales registradas en el acelerómetro 4 y la misma información llevada al dominio de la frecuencia.

En total se analizaron veintisiete grados de libertad, nueve por cada dirección x, y, z. Para favorecer la comprensión de los resultados, se decidió trabajar con tres gráficos de densidad espectral normalizada promedio, manteniendo los ejes por separado. El ANPSD vertical se presenta en escala logarítmica para reconocer más claramente los picos.

De la figura 4 se pueden obtener los primeros cuatro modos de flexión vertical: 2.4 Hz, 8.6 Hz, 19.7 Hz y 33.7 Hz. Mientras tanto, viendo la figura 5 se identifica el primer modo de flexión horizontal a 1.8 Hz. Tanto en vertical como en horizontal se halla un pico en 25.4 Hz, siendo esto indicativo de un modo torsional (un giro genera en los extremos del tablero desplazamientos en ambos ejes). Por último, analizando la figura 6 puede obtenerse la frecuencia natural del primer modo longitudinal que es de 48.4 Hz.

En resumen, a partir de la medición a vibración ambiente pudieron reconocerse siete modos de

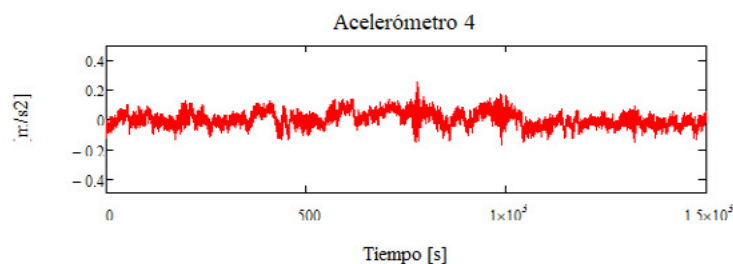


Fig. 3:
Aceleraciones
medidas durante
el ensayo
a vibración
ambiente

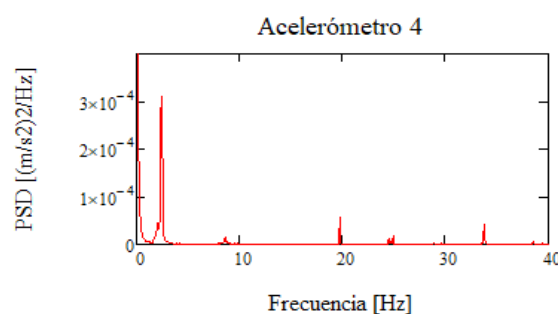


Fig. 4:
ANPSD de
aceleraciones
verticales

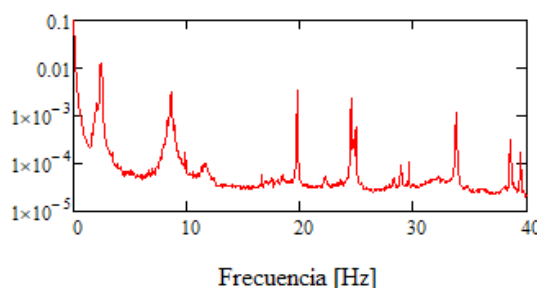


Fig. 5:
ANPSD de
aceleraciones
horizontales

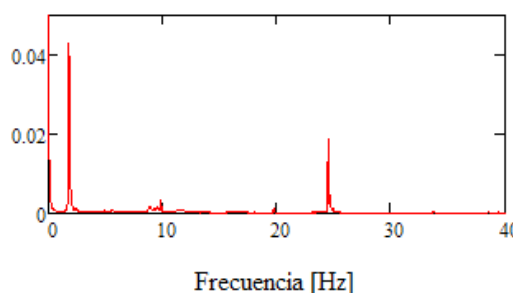


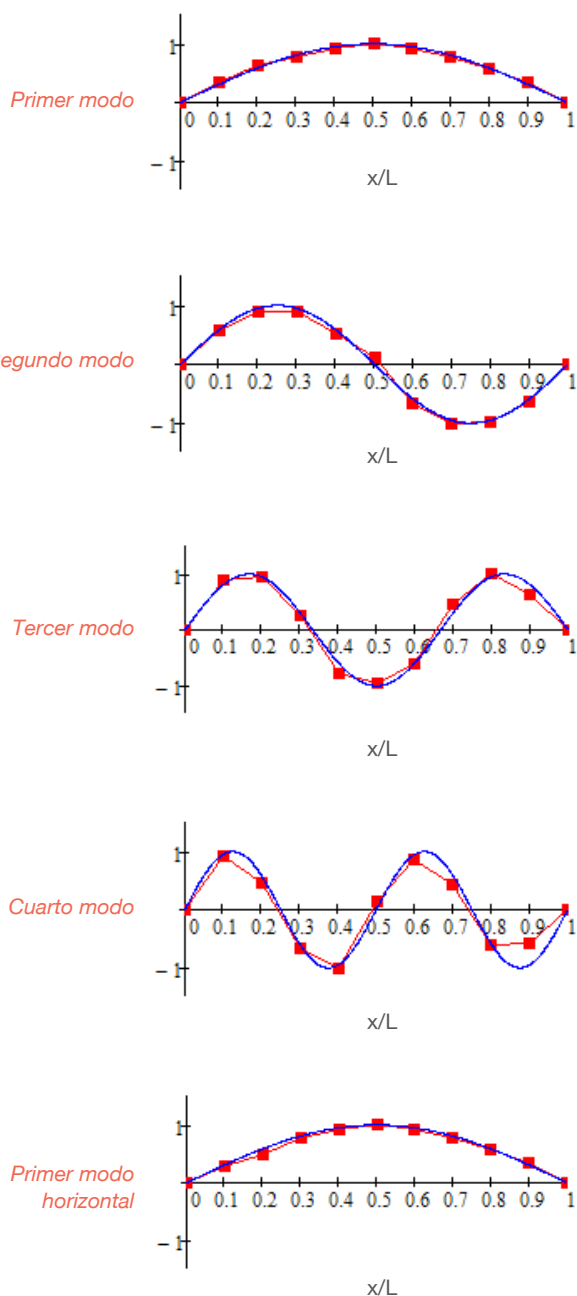
Fig. 6:
ANPSD de
aceleraciones
longitudinales

Referencias:

■ ■ ■ PP
— Teórico

Fig. 7

Modos de vibración estimados
para la pasarela peatonal



vibración de la pasarela peatonal. Por insuficiencia de puntos (en el caso de la torsión) o poca intuitividad (en el caso axil), estos dos modos no fueron graficados a partir del PP, así que en total se obtuvieron cinco formas de los modos de vibración a partir del método. Estos se pueden ver en la figura 7.

Para la elaboración del modelo estructural del puente a calibrar se decidió aplicar la teoría de vibraciones en medios continuos [3, 4]. Como condiciones de borde se consideró el caso simplemente apoyado para la flexión en ambos apoyos, y el caso biempotrado para la torsión. La adopción de las condiciones de vínculo no es azarosa, sino que se condice con la tipología de los apoyos del puente. Los apoyos de neopreno, por su disposición en planta, tienden a permitir el giro en el plano longitudinal del puente. En cambio, al colocarse su lado más largo en sentido transversal, la pieza está más estabilizada a la torsión y se puede suponer razonablemente que el giro de torsión será nulo en los apoyos.

Si se compara en la figura 7 la forma de los modos obtenidos por PP con los modos del modelo teórico adoptado, puede verse que estos convergen perfectamente. Por lo tanto, siendo el modelo adecuado, el próximo paso es calibrarlo a fin de ajustar las frecuencias naturales. En la siguiente tabla se muestra la comparación entre los valores medidos en el campo y el modelo numérico calibrado.

Modo	Frecuencia modelo [Hz]	Frecuencia medida [Hz]
1er. modo vertical	2.2	2.4
2do. modo vertical	8.9	8.6
3er. modo vertical	20.1	19.7
4to. modo vertical	35.8	33.7
1er. modo horizontal	1.7	1.8
1er. modo torsional	22.3	25.4
1er. modo longitudinal	47.6	48.4

Como puede verse, luego de la calibración el modelo estructural adoptado se ajusta muy bien a lo medido en campo. Una vez calibrado el modelo, este fue utilizado para analizar la seguridad del puente ante el paso de la gente, que era motivo de preocupación de la empresa.

Para ello se realizó una verificación tensional, comparando las tensiones máximas de compresión y tracción que aparecen en la pieza con las correspondientes tensiones límite de servicio

que se pueden encontrar en el CIRSOC 201-2005 para la condición U (no fisurado o *uncracked*). Habiendo sido construida la pasarela hace más de cuarenta años, se despreció el efecto de la secuencia constructiva en el análisis tensional al suponer que ya se habían redistribuido los esfuerzos por fluencia lenta [5].

En cuanto a la excitación, las fuerzas de inercia (si se desprecia el amortiguamiento) se pueden obtener a partir de la aceleración en el centro de tramo $\overline{a_v}$ y la forma del primer modo como:

$$(07) \quad f_i(x) = \rho A \overline{a_v} \sin\left(\frac{\pi}{L} x\right)$$

donde ρ , A y L son parámetros estructurales. Por lo tanto, el momento debido al peso propio como así también el momento dinámico pudieron obtenerse gracias a la calibración del modelo estructural. Del análisis tensional se desprendió que la estructura no corría riesgo de colapso, siendo la carga considerablemente menor a la de diseño.

Por otra parte, se analizaron en paralelo las condiciones de confort, y se llegó a la conclusión de que las aceleraciones superaban los límites definidos por la Norma IRAM 4078, tanto en vertical como en horizontal. Esto justifica las quejas y comentarios recibidos por la empresa de molestias al caminar por la pasarela.

Conclusiones

La aplicación del método PP mostró su utilidad a la hora de calibrar modelos para la estructura analizada y describir el comportamiento de esta a cargas dinámicas. En el estudio en la pasarela peatonal pudo verse que las frecuencias naturales y modos de vibración obtenidos analíticamente se ajustaban perfectamente a lo medido *in situ* (figura 7).

La calibración de ese modelo analítico para la estructura real fue fundamental para poder obtener las sollicitaciones dinámicas y así dar respuesta a las inquietudes del comitente. Las sollicitaciones obtenidas a partir del modelo demostraron que la pasarela no corría riesgo estructural y que, como en buena parte de los problemas dinámicos originados por acciones del hombre, los inconvenientes están más bien asociados al confort o daños cosméticos. Finalmente, al contar con un modelo numérico calibrado del puente es posible trabajar con datos concretos si se quisiese modificar la rigidez del mismo o instalar amortiguadores de vibraciones para reducir las aceleraciones y alcanzar los niveles de confort deseados.

Bibliografía

- [1] Felber, A. J. *Development of a Hybrid Bridge Evaluation System*. Ph.D. Thesis, University of British Columbia, 1993.
- [2] Bendat, J. S. y Piersol, A. G. *Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis*. John Wiley & Sons, segunda edición, 1993.
- [3] Clough, R. W. y Penzien, J. *Dynamics of Structures*. Computers and Structures, segunda edición revisada, 2010.
- [4] De Silva, C. W. *Vibration: Fundamentals and Design*. CRC Press, Taylor & Francis Group, segunda edición, 2006.
- [5] Ghinassi, G.; Fazio, J. y Dreas, G. *Viscosità e Metodi Costruttivi nei Ponti in c.a.p. a Travata Continua, Realizzati per Fasi*. Alinea Editrice, 1994.

A man with dark hair, wearing a dark blue button-down shirt, is speaking at a podium. He is looking upwards and to the right. He is holding a small, dark, rectangular device with a microphone attached to it. The background is a blurred red and white pattern.

NUESTROS
GRADUADOS

.ing | 32 | 33

Neurociencias de exportación

Formado en la FIUBA como ingeniero electrónico y radicado en Estados Unidos, el **Dr. Ing. Diego Gutnisky** repasa su recorrido académico y científico, y comparte con .ing un balance sobre cómo ve a la ciencia argentina a la distancia.

Diego Adrián Gutnisky nació en diciembre de 1978. Se graduó como ingeniero electrónico en la FIUBA en 2002 y desde 2009 es doctor en neurociencias. Su pasión por la actividad científica comenzó en la adolescencia, a partir de haber asistido a una escuela técnica. “Tuve algún grado de duda si estudiar física en vez de ingeniería. Creo terminé orientándome para el lado de la ingeniería porque pensé (erróneamente) que al elegir física me direccionaba a un camino casi directo hacia lo académico; y creía, también erróneamente, que había pocas posibilidades de desarrollarme en el país como científico”.

Cuando desde *.ing* se le pregunta a Gutnisky sobre los motivos de la elección de su actual especialidad, menciona a su madre como una de las personas que más lo influyó. “Mi mamá es psicóloga. En casa había muchos libros de psicología, así que eso despertó siempre mi curiosidad, pero me parecían muy poco cuantitativas”. Y agrega: “Creo que fui influenciado en gran medida al ver, al menos, una ‘posibilidad’ en la colección de libros Serie de la Fundación, de Isaac Asimov. Me fascinó tomar conceptos de física y estadística para poder predecir comportamientos. Antes de empezar la facultad, allá por 1997, había hecho algunos cursos de redes neuronales y Fuzzy Logic. Y también tuve interés en la filosofía. Pero lo biológico recién apareció cuando trabajé en mi tesis de grado. previamente había hecho el curso de redes neuronales, con el Dr. Silvano Zanutto, lo que influyó en mi nueva orientación. La exposición con biólogos y congresos de neurociencias me hicieron hacer un vuelco total en mis intereses, y ahí fue cuando empecé a ir a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA a cursar algunas materias de diferentes carreras y decidirme en hacer un doctorado afuera del país con un foco más experimental. Nunca me hubiese imaginado que iba a terminar entrenando monos y ratones, haciendo mis propios experimentos”.

A partir del recorrido internacional de su carrera, Gutnisky –uno de los oradores de TEDxRíodelaPlata en su edición 2017– hace un balance sobre la formación de grado recibida en la FIUBA: “La pregunta siempre es ‘para qué’. Lleva un poco de tiempo y paciencia darse cuenta de la utilidad de lo que uno aprende. Que ciertos exámenes sean abiertos, te brinda un entrenamiento que es mucho más poderoso para innovar y resolver nuevos problemas en el mundo real”.

Desde 2010, sus proyectos científicos estuvieron dedicados al estudio de micro circuitos neuronales, estudiando el sistema de vibrisas (o bigotes) de los ratones a fin de saber por qué funcionan como si fueran los dedos de las manos del ser humano. “Tienen un circuito neuronal muy estudiado y más sencillo que otros, y uno puede reducir el comportamiento a pocas dimensiones (por ejemplo haciendo

Emociona los logros que tienen muchos científicos argentinos ante tanta adversidad.

que el animal use un solo bigote para detectar la posición de un objeto)”.

En la misma línea de investigación, este graduado de la FIUBA comenta que otro de los proyectos en los que ha estado recientemente involucrado se relaciona con el objetivo de “lograr esculpir” la actividad neuronal en el ratón. “Mediante técnicas de aprendizaje por refuerzos, logré que el ratón cambiara la actividad de una neurona elegida al azar cuando le presentaba un sonido específico. Esto demuestra la enorme plasticidad neuronal que se posee para cambiar la manera en que se responde para maximizar refuerzos. Esto tiene gran importancia en aplicaciones para el desarrollo de interfaces hombre-máquina para, por ejemplo, controlar un brazo robótico”, dice Gutnisky.

En los últimos años, Gutnisky se ha dedicado a trabajar como líder del grupo de ciencia de datos de Grandata, una empresa argentina con sede en San Francisco. “Ahí hacemos modelos de *machine learning* y de grafos sociales para entender el comportamiento de la gente”, explica.

Tamizada por la distancia, la mirada de Gutnisky sobre la carrera científica incluye aspectos tanto positivos como negativos: “Aparte del poco apoyo estatal, en Argentina, es poco significativo el aporte privado y filantrópico para el desarrollo científico del país. Yo trabajé siete años en el Instituto Janelia, complejo científico especializado en Neurociencias perteneciente al Howard Hughes Medical Institute (HHMI), un instituto privado sin fines de lucro, que posee un patrimonio de más de veinte mil millones de dólares que, invertidos, generan dividendos anuales que en gran parte se dedican a financiar proyectos científicos. Como resultante de ello se ha generado que una gran parte de los premios nobeles del área biomédica provengan del HHMI. Quizás, no sea muy optimista respecto de que nuestra ciencia pueda tener, en la inmediatez, un acuerdo político amplio para que sea prioridad y estable en el tiempo. Pero me gustaría ver que las inversiones privadas y la filantropía puedan, al menos llenar un poco de ese hueco para lograr amortiguar los constantes cambios en las políticas públicas sobre el desarrollo científico. Da mucha tristeza ver la pérdida de potencial en este aspecto dado los Recursos Humanos que tenemos y emocionan los logros que obtienen muchos científicos argentinos en medio de tanta adversidad”, afirma ■



Ingeniería para todos y todas

Entrevista a la **Lic. Lucía Navarro**, responsable del Área de Inclusión, Género y Diversidad, un nuevo espacio institucional de la FIUBA.

“Las cuestiones de género me atravesaron durante toda mi vida, en mi núcleo familiar y social. Las primeras desigualdades las noté en la adolescencia con una fuerte imposición de estigmas, juzgamientos y roles diferenciados para mujeres y varones, vinculado también a que mi hermana fue madre en su adolescencia y la responsabilidad adjudicada a mi mamá por esto. A los dieciocho años realicé un curso de primeros auxilios de la Cruz Roja. En ese entonces, pude entender la poca información y formación que me había sido brindada en la escuela respecto a este tema, y con un grupo empezamos a hacer campañas relativas al cuidado de nuestros cuerpos y la importancia del uso de preservativo. Asimismo, en el paso por la universidad también pude identificar las desigualdades sociales existentes, que exceden lo meramente económico”, explica la Lic. Lucía Navarro, actual coordinadora del Área de Inclusión, Género y Diversidad de la Secretaría de Inclusión, Género, Bienestar y Articulación Social de la Facultad de Ingeniería de la UBA, oficina que funciona en la planta baja de la sede de Av. Paseo Colón 850.

Desde su puesta en marcha en 2017, esta nueva área ha organizado una serie de actividades de prevención y concientización respecto a las violencias, también vinculadas a otros temas de la agenda de lo que se denomina “cuarta ola feminista”, tales como legalización de la interrupción voluntaria del embarazo o el ya habitual Paro

Internacional de Mujeres que se realiza cada 8 de marzo, entre otras acciones.

En lo que respecta al citado protocolo –que junto con la puesta en funciones del área comenzó a recepcionar denuncias desde mediados de 2017–, desde ese entonces, hasta la fecha hubo quince exposiciones. “Cabe aclarar que también damos apertura al espacio de escucha en otras situaciones que no son de protocolo, ya sea de violencia en el noviazgo/pareja, otras violencias que exceden las cuestiones de género u otros temas vinculados a esta problemáticas”, señala. “Las situaciones con las que se interviene específicamente desde el protocolo son aquellas de acoso sexual y hechos con connotación sexista. Algunos casos ocurren de manera sistemática y prolongados en el tiempo pero que, a partir de la visibilización de esta problemática, las mujeres pudieron identificar y establecer un límite. En otros, ya se trata de hechos concretos que ya no son admisibles en la sociedad y mucho menos en el ámbito académico. También, es pertinente contemplar la dimensión generacional, las personas jóvenes se muestran más reflexivas respecto a la incorporación de nuevas prácticas no violentas y sexistas, mientras que las personas de más edad se muestran reticentes a la identificación de las mismas y a las posibilidades de modificarlas”, sostiene la Lic. Navarro ■



Enterate de las últimas novedades de la FIUBA en nuestras redes sociales

www.ingenieria.uba.ar

[f](#) [🐦](#) [@](#) [in](#) /ingenieriauba

[You Tube](#) /FIUBAoficial

FIUBA

NEW APPLIED NOW



HAGAMOS POSIBLE
LO IMPOSIBLE

SUMATE

accenture.com/empleosargentina

**>
accenture**