

100 años de Facultad de Ingeniería  
125 años de Ingeniería Nacional



**100 años de Facultad de Ingeniería**

**125 años de Ingeniería Nacional**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

Av. Julio Herrera y Reissig 565 – Montevideo, Uruguay

ISBN: 978-9974-0-1432-9

Diciembre 2016 – Montevideo, Uruguay

**Decana**

María Simon

**Comité Editorial**

Liliana Borzacconi, Alción Cheroni, Marcelo Fiori, Álvaro Giusto, Mariana Pereira, Alejandro Landoni, Graciela Silva, Ulises Travieso y María Simon

**Consejo de la Facultad de Ingeniería**

Orden Docente

Titulares: Pablo Belzarena, Iván López, Martín Pedemonte, Alejandro Romanelli, Alvaro Giusto

Suplentes: Gabriel Cazes, Juan Pablo Oliver, Francisco Pedocchi, Daniel Ariosa, Roberto Pérez Rodino,

Luis Teixeira, Arturo Lezama, Franco Simini, Jorge Sotuyo

Orden Egresados

Titulares: Mercedes Visca, Nelma Benia, Sarah Dominguez.

Suplentes: Patricia Perruni, Aldo Fierro, Schubert Gallo, Gustavo Zabalza, Emiliano Martínez, Raúl Boado

Orden Estudiantil

Titulares: Sofía Senatore, Lucía Sasaín, Leopoldo Agorio.

Suplentes: Anara Eguren, Varinia Cabrera, Mathías Pereira, Lucía Campora, Alejandra Clivio,

Leandro Domínguez

**Mesa del Claustro**

Heber Enrich (presidente), Marcelo Fiori (1º vicepresidente), Brian Álvez (2º vicepresidente)

Secretario estudiantil: Pablo Da Costa (t), Martín Randall (s)

Secretario Egresado: Daniel Rubino (t), Víctor Cristar (s)

Secretario Docente: Lorena Etcheverry (t), Franco Simini (s)

**Coordinación General**

Área de Comunicación de la Facultad de Ingeniería

Fotografía de tapa: Sofía Lagomarsino

**la diaria**

Coordinación editorial: José Gabriel Lagos | Corrección: Magdalena Sagarra

Diseño y armado: Jessica Stebniki | Fotografía interior: Santiago Mazzarovich

# Índice

- 04 | **Introducción** María Simon
- 06 | **Conversación con los decanos** Héctor Cancela
- 10 | **Conversación con los decanos** Rafael Guarga
- 14 | **Conversación con los decanos** Ismael Piedra-Cueva
- 18 | **Conversación con los decanos** María Simon
- 26 | **El futuro comienza hoy** Rafael Guarga
- 28 | **El líder silencioso: la informática en Uruguay** Ana Asuaga, María Laura Bermúdez, Ulises Travieso
- 30 | **La Agrimensura en nuestro país: una trayectoria de casi dos siglos** Instituto de Agrimensura
- 33 | **Y vos, ¿qué estudiás?** Área de Comunicación de la Fing
- 34 | **La siembra de 1918 continuará dando sus frutos a la sociedad uruguaya** Generación 67
- 36 | **Tres décadas de investigación en tratamiento de residuos** Soledad Gutiérrez
- 38 | **Academia–empresa: hablar un mismo idioma** Sebastián Hernández, Ana Libisch
- 40 | **El mundo cambia, la Facultad también** Área de Comunicación de la Fing
- 42 | **¿Qué es la Ingeniería Biomédica?** Franco Simini
- 44 | **Vientos de cambio** Comisión de Posgrado en Energía de la Facultad de Ingeniería
- 46 | **Un puente entre la academia y la sociedad** Fundación Julio Ricaldoni
- 48 | **El primer satélite** Juan Pechiar
- 50 | **¿Eso también es matemática?** Marcelo Fiori
- 52 | **¡Agua! ¡Den agua a las cuerdas!** Alejandro Romanelli
- 54 | **Lo esencial es invisible a los ojos** Elizabeth González
- 56 | **Clima y mecánica de los fluidos** Rafael Terra
- 58 | **Un siglo** Alción Cheroni

# Nuestra Facultad de Ingeniería, la de todos nosotros

A LO LARGO DE 2016 organizamos varias actividades en la Facultad; nos festejamos a nosotros mismos con alegría pero sin complacencia, planificando cambios en forma crítica y fecunda, a partir del centenario de nuestra denominación como Facultad de Ingeniería.

Procesos complejos tienen historias complejas. La primera facultad de la que egresaron ingenieros fue la llamada Facultad de Matemáticas y Ramas Anexas, creada en 1885 bajo el impulso positivista de Alfredo Vásquez Acevedo<sup>1</sup> y en el caldo de cultivo de una profunda discusión sobre el modelo de país deseado, sobre la independencia y la descolonización, sobre la naciente actividad fabril que venía a complementar la ganadera, generando una clase trabajadora urbana. Un modelo de país con producción propia y con exportación imponía grandes obras nacionales, como el puerto, la red vial y, algún tiempo después, la electricidad.

Se discutió si crear una facultad, contratar extranjeros o mandar estudiantes al exterior, porque se pensaba que se necesitaría muy pocos ingenieros. Aunque parezca increíble, estas ideas vuelven referidas a los posgrados, a la investigación o a algunas tecnologías. Gracias al empeño de varios, los profesionales

locales llegarían a tiempo para liderar las grandes obras del desarrollo y aprender, crear conocimiento y transmitirlo. Eso valía incluso más que las obras materiales.

Fue en 1915 que la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería y Ramas Anexas fueron creadas a partir de la Facultad de Matemáticas. La denominación indica la identificación del saber y la investigación tecnológica como entidades autónomas, superando un modelo erróneo, que creía en una mera aplicación de las ciencias fundamentales. Nos debemos todavía una epistemología profunda de lo tecnológico, intento ambicioso que esperamos iniciar junto con los filósofos del conocimiento.

Una facultad tan diversa tiene una historia y un presente muy ricos, que recorrimos en sucesivos artículos publicados durante la segunda mitad del año en el periódico *la diaria* (pueden leerlos también en este libro). Hay carreras surgidas en distintos momentos, desde las tradicionales, varias veces cambiadas, hasta las tan jóvenes como las licenciaturas en Ciencias Hídricas Aplicadas, Ingeniería Biológica, Ingeniería de Producción e Ingeniería Forestal. Las hay surgidas en nuestra Facultad y también nacidas en colaboración, como Ingeniería

Alimentaria. Existen grupos de investigación con varias generaciones académicas, que pudieron superar la interrupción de la intervención. Se brindan carreras de posgrado, nacidas con la democracia, curiosamente no previstas por la Ley Orgánica.

Hoy estamos nuevamente ante una necesidad enorme de más ingenieros. El país ha crecido económica y socialmente durante los últimos diez o 12 años, después de una profunda crisis; está al borde entre el salto cualitativo y el estancamiento. El desarrollo durable solo puede reposar en la creación de conocimiento, que mejora la productividad y contribuye a la densidad del tejido intelectual. Esto incluye la investigación tecnológica, la innovación, la creación teórica o artística.

En particular se necesita un aporte importante de la ingeniería, que ocupa un rol especial en el desarrollo, por la aplicación de la ciencia y la creación de tecnologías. En el mundo hay carencia de ingenieros<sup>2</sup>. En Uruguay hay menos de seis ingenieros cada 1.000 trabajadores. En Suecia o en Alemania hay más de 30 en igual base<sup>3</sup>. En la región hay entre el doble y el triple.

Si Uruguay quiere seguir un camino de desarrollo basado en el trabajo y el conocimiento, hacen falta muchos más ingenieros. Hace

un tiempo, nos parecía bien tener desocupación cero; ahora ya tenemos desocupación negativa, y esto es una traba para el desarrollo.

Hay al menos tres vías a recorrer simultáneamente: 1) lograr mayor egreso y de buen nivel, lo que implica retener y entusiasmar más; 2) impartir formaciones terciarias en institutos de tipo politécnico, que complementen el trabajo de los ingenieros; y 3) estimular a las niñas y jóvenes mujeres, cuya presencia está entre 25% y 30%, en contraste con la matrícula universitaria total.

Para retener y entusiasmar se están generando formas de aprendizaje activo, talleres, apoyos basados en las tecnologías. También se desarrollaron varias carreras de tecnólogo, y se hace difusión en la educación media. Pero no podemos dejar de lado la necesidad de un presupuesto que permita condiciones que no sean de masividad, y de becas que permitan una mayor dedicación de los estudiantes.

La Universidad no es tal sin creación de conocimiento. Sin ánimo exhaustivo y ni siquiera descriptivo, merece mención la construcción de nuestros institutos y líneas de investigación sistemáticas. Desde las ciencias fundamentales, que aportan no solo conocimiento sino formación del pensamiento y tienen una tradición de

nivel mundial, hasta grupos de investigación tecnológica. Se podría exponer varios casos de aporte al país; nombraré muy pocos.

Es llamativo que un país en el que predomina la producción primaria tenga el peso que tiene en la producción de software, y se debe decir que esa industria emergente nace de la Facultad de Ingeniería, de su Instituto de Computación y del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, sin desconocer otros aportes.

Cuando se presenta a la tecnología como opuesta a lo natural, no puedo menos que pensar en el tratamiento de efluentes, desarrollado desde la Facultad de Ingeniería durante décadas y aplicado por muchas industrias y establecimientos rurales y en activo desarrollo.

Vemos, ya parte del paisaje, los molinos de generación eólica. Se ha diversificado la matriz energética al punto de que el viento produce alrededor de 25% de la energía eléctrica consumida en el país, lo que permite que la energía basada en hidrocarburos funcione solo como respaldo. Recordamos a precursores de fines de los años 50 y a quienes, también desde la Facultad de Ingeniería, llevaron a cabo tenazmente proyectos de investigación sobre aprovechamiento del viento y sobre integración de las energías renovables a la red eléctrica desde

1986, cuando se decía que no era económico y, por lo tanto, no valía la pena.

Por esos pasados, este presente y su proyección al futuro, y porque el futuro no es un paisaje sino una construcción, este año celebramos, discutimos y planificamos. ■

1 Interesantes y detallados datos históricos, vinculados con las circunstancias que vivía el país y las ideas que se discutían, se pueden leer en el portal [www.galileo.fhuce.edu.uy](http://www.galileo.fhuce.edu.uy).

2 Datos de *Ingenieure auf einen Blick 2013*. VDI, The Association of German Engineers.

3 Se puede ver [http://www.unesco.org/new/en/media-services/single-view/news/engineer\\_shortage\\_a\\_threat\\_to\\_development\\_underlines\\_unescos\\_first\\_global\\_report\\_on\\_engineering](http://www.unesco.org/new/en/media-services/single-view/news/engineer_shortage_a_threat_to_development_underlines_unescos_first_global_report_on_engineering), que muestra una preocupación mundial, desde los países con mayores carencias a los más desarrollados, por las formaciones en ingeniería.

# Héctor Cancela

EL DOCTOR EN informática Héctor Cancela fue decano de la Facultad de Ingeniería entre 2010 y 2015.

## **La importancia de la ingeniería para una sociedad**

Esencialmente la ingeniería es utilizar diferentes recursos —sean materiales, técnicos, el conocimiento de la gente y su trabajo— para desarrollar bienes y servicios para el buen funcionamiento de la sociedad, para generar más bienestar y una mejor calidad de vida. El objetivo de la ingeniería pasa por brindar las condiciones para que una sociedad sea más segura en su alimentación, vivienda, vestimenta, tecnología, recreación, etcétera. La visión de la ingeniería es brindar esos espacios de desarrollo a la sociedad.

Por supuesto, dicho así es muy ambicioso, y no es la única disciplina que tiene esos objetivos. Uno puede pensar que todo el conocimiento y las tecnologías, las humanidades y las ciencias, tienen esa repercusión en algún momento. Quizás la ingeniería tiene muy a la vista esa necesidad. Las ciencias básicas son fundamentales para el desarrollo de la humanidad, el bienestar de la sociedad y todo lo que dijimos; la ingeniería utiliza los

conocimientos generados por las ciencias básicas, sumando entre otros elementos este enfoque y preocupación por su aplicación a la mejora del bienestar social.

## **Cómo la ingeniería podría contribuir más proactivamente con el desarrollo**

Históricamente, la sociedad uruguaya ha tenido un espacio importante para la ingeniería. José Batlle y Ordóñez, al finalizar la última guerra civil a comienzos del siglo xx, dice algo como: “Tal como necesité los generales para ganar esta última guerra voy a necesitar a los ingenieros para reconstruir el país”.

Uruguay sigue siendo un país cuya producción es, en gran medida, de base agrícola. Aun ahí la ingeniería cumple un papel enorme porque no hay agricultura que pueda desarrollarse sin infraestructura y logística. No hay posibilidad de articularla con los procesos productivos posteriores sin ingeniería. Incluso dentro del propio desarrollo agrícola, cada vez más la posibilidad de que el país crezca y se mantenga inserto en los mercados internacionales pasa por la incorporación de tecnología a los procesos, sea porque hay mayor nivel de procesamiento de la producción primaria para agregarle valor, sea porque en

la propia producción primaria cada vez más la tecnología cumple un papel central, con la agricultura de precisión, la trazabilidad, la agroinformática, el mayor uso de maquinaria, de información, de apoyo a la toma de decisiones, de uso de información meteorológica. En todos esos aspectos hay un valor que la ingeniería puede y tiene que aportar para que toda esa producción, por un lado, tenga un mayor nivel de eficiencia y, por otro, adquiera mayor valor tanto en el consumo interno como en la exportación. Ahí hay un papel que a veces está invisibilizado, pero es muy importante.

Por supuesto que la ingeniería también tiene un lugar relevante en el desarrollo industrial del país, que ha atravesado distintas etapas, incluyendo períodos de reducción de las capacidades. Afortunadamente, en estos últimos años hay una apuesta por rearmarlas e insertarlas en cadenas de valor a nivel regional y mundial. Uruguay sigue teniendo, y va a tener siempre, un problema de escala. Es muy difícil desarrollar un complejo industrial potente exclusivo de Uruguay, pero hay nichos y oportunidades en los cuales Uruguay, sumado a otros países, puede tomar un papel en la cadena productiva. Ahí sin duda va a estar siempre la ingeniería.

En cuanto a servicios también la ingeniería tiene cada vez más un papel fundamental. Para empezar, hay una infraestructura de base: las telecomunicaciones. Tal como las infraestructuras viales y logísticas siguen siendo fundamentales para cualquier país, hoy las infraestructuras de telecomunicación son igualmente importantes. Uno no puede decir que una sea más importante que la otra, pero sin buenas redes y servicios de comunicación, no hay ninguna actividad que funcione. Y es otra área donde la ingeniería nacional tiene una tradición muy importante. Para dar ejemplos de hace unos años pero cercanos en el tiempo: la construcción de las centrales Telex uruguayas, el armado de las primeras redes de datos nacionales, la expansión de la infraestructura de base de telecomunicaciones, sea cableada, con fibra óptica o inalámbrica. Tener una capacidad nacional fuerte, que sigue el estándar del mundo, que se sabe utilizar de forma eficiente y que, al mismo tiempo, logra dar servicios adecuados para los privados, el gobierno y las personas, es un elemento esencial.

Otra área de importancia creciente en toda sociedad, y más en aquellas que van envejeciendo como la nuestra, es el cuidado de la salud. También allí la presencia de la ingeniería es cada vez mayor, sea en dispositivos médicos, en el uso y desarrollo de tecnologías de intervención, en todo lo que tiene que ver con medicamentos –de producción, de búsqueda de nuevos compuestos, etcétera–, en el uso de las tecnologías de la información para generar historias clínicas, para saber cómo tratar a los pacientes, para optimizar el uso de los recursos, gestionar mejor los existentes y lograr un mejor resultado. Nuevamente ahí está presente la ingeniería.

En la educación también. En estos días se ha lanzado un concurso de uso de tecnología para resolver problemas educativos. Por supuesto que la tecnología no es en sí misma una solución para la educación, pero sí es una habilitadora; por algo tenemos el Plan Ceibal y el uso de plataformas virtuales de aprendizaje a nivel universitario. Son elementos en los que está presente la ingeniería que también construye una infraestructura.

En el arte: hay nuevos medios y el arte se va transformando. Todas las expresiones artísticas clásicas son igualmente válidas, pero aparecen nuevas en las que hay personas formadas en ingeniería y tecnologías y también en el arte, y juntan esas dos facetas. Tenemos el arte desarrollado con instrumentos nuevos, a través de sintetizadores virtuales, utilizando las redes inalámbricas como parte de una obra para que sea interactiva, todo lo que es la realidad virtual en el entretenimiento y la diversión.

La realidad virtual como herramienta de juego pero también la *gamification*: usar lo que se ha aprendido de los juegos para aplicarlo a tareas más serias. Hay todo un enfoque de utilizar elementos del comportamiento humano que se han aprendido en el desarrollo de juegos para, por ejemplo, potenciar la educación, pero también para potenciar la rehabilitación médica: alguien tiene que hacer ejercicios aburridos todos los días en un aparato, le ponen realidad virtual y coordinan el ejercicio con lo que está viendo para que juegue mientras se rehabilita.

En el trabajo: ciertas tareas, como atender un *call center*, se hacen a través de software que agrega elementos lúdicos o de recompensa a la persona que hace la tarea, de manera que sea más gratificante y la pueda hacer con más atención y eficacia.

### **Cómo puede la ingeniería incrementar su aporte**

Hay que empujar en varios aspectos. Uno es lograr que cada vez más jóvenes sigan las carreras de ingeniería. Por suerte tenemos muchos ingresos, pero hacen falta muchos más, y tenemos bastantes egresos, pero hacen falta muchísimos más. Se necesita, sin dudas, más ingenieras e ingenieros. Digo ingenieras porque si bien ha crecido globalmente en la Facultad la presencia femenina, todavía sigue siendo muy acotada. Realmente necesitamos que cada vez más jóvenes, mujeres y hombres, opten por las carreras de ingeniería.

Es importante también que en otras carreras y áreas haya más conocimiento de lo que es la ingeniería y de lo que puede aportar; más facilidades para construir un lenguaje común.

Por supuesto, en Uruguay es importante el Estado. Siempre le pedimos que haga un mayor aporte, no solo de más recursos para el funcionamiento de la Facultad y la formación de la gente sino también para la cooperación y para proyectos de incorporación de más ingeniería y más tecnología en los distintos ámbitos. Hay ya recorrido un camino importante: la Facultad ha tenido muchos convenios con UTE, Antel, ANCAP, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, con varios ministerios como el MIEM, el MTOP, el Mides, y otros ámbitos del Estado que han dado lugar a proyectos muy interesantes. Sin embargo, hay muchos lugares del Estado en donde todavía se puede ganar incorporando más conocimiento.

Por medio de la Fundación Ricaldoni, entre otras herramientas, la Facultad busca llegar a ámbitos donde no es tan sencillo tener ese primer contacto con la ingeniería.

## **Los aportes más importantes de la ingeniería al país**

Se hicieron las grandes represas hidroeléctricas, con participación del exterior, pero también estuvo presente la ingeniería nacional. Se hicieron los puentes con Argentina. Hoy nos parece que las represas ya están, pero fueron proyectos muy grandes que cambiaron el país.

Hoy otro proyecto muy grande es la energía eólica. En la Facultad de Ingeniería hubo estudios precursores de energía eólica en la década del 60, a fines de los 80 y principios de los 90 hubo proyectos bien importantes, con apoyo de UTE, que llegaron a conseguir un primer molino prototipo para conocer el potencial eólico del país, mucho antes de que se pensara que era del todo práctico. En aquella época había mucha gente que pensaba que no valía la pena, que era demasiado caro, sin embargo la visión de estudiar el potencial de esta tecnología dio sus frutos años más tarde. En esos estudios también se ve la formación de los recursos humanos. ¿Por qué se pudo implementar ahora esta política? Porque buena parte de la gente que la impulsó desde el gobierno antes había sido docente en la Facultad de Ingeniería y se formó en estas temáticas. Tenían un conocimiento previo adquirido en la Facultad, donde había habido una apuesta institucional a entender cómo era el funcionamiento de la energía eólica, qué características tenía y si era adecuada para el país.

Hoy se está estudiando la generación de energía a través de las olas; en el mundo ya hay lugares donde se está usando, todavía no es económico, pero quién sabe si en 20 años no lo será. La Facultad tiene que ser capaz de entender las distintas alternativas que hay y las tecnologías existentes, de tener una perspectiva

de qué tecnologías podrían venir o se están desarrollando para aplicarlas cuando haga falta.

Ha habido también edificios emblemáticos: el Cilindro Municipal, por el desarrollo de la tecnología de la construcción, la infraestructura. O la rambla: hoy no entendemos la ciudad de Montevideo sin esa rambla continua, pero hay un tramo que es natural y otro que es construido desde cero; fue una obra tan importante que incluso se filmó con fines educativos.

Las obras de saneamiento. El Puerto de Montevideo, que es una obra fantástica, lugar más importante de entrada y salida de productos del país, con un papel fundamental también para el turismo. El Puerto como obra de la ingeniería es extremadamente significativo.

Por supuesto, como ingeniero en el área de computación tengo que mencionar todo el desarrollo de la industria del software, que nació muy pequeña y ha crecido hasta convertirse en un área muy dinámica y con un perfil exportador que ha sido referencia en América Latina, donde varios países han intentado copiar su ejemplo.

## **Qué le queda por hacer a la Facultad**

Cada vez hay más pedidos y oportunidades en ámbitos en los que la Facultad tiene para aportar. De todos modos, la responsabilidad número uno de la Facultad sigue siendo la formación de recursos humanos, de profesionales a nivel de grado y posgrado, dándoles formación permanente, así como la cooperación con otras instituciones, porque en definitiva la ingeniería nacional es el trabajo de todos los ingenieros del país.

La Facultad para poder formar tiene que mantenerse, por un lado, al tanto del estado del arte y, por otro, generar conocimiento. La

Facultad tiene que mantener equipos de investigación y una política de convenios, extensión y vinculación con el medio. La política de extensión y convenios le permite, por un lado, entender cuáles son las necesidades de la sociedad, cuáles son los desafíos que se están dando desde el punto de vista tecnológico y social y detectar problemas, estén o no resueltos en el mundo. Necesita también hacer investigación, tanto básica como aplicada, para generar nuevo conocimiento que sea aplicable a la realidad local o que permita adquirir y desarrollar metodologías que luego puedan ser utilizadas para resolver distintos problemas. En esa tarea de investigación, desarrollo y vinculación dentro y fuera del país surgen muchísimas oportunidades.

H trabajar en los temas de infraestructura física, vial, transporte, también de comunicaciones por supuesto. Como todo, hay períodos de mayor o menor desarrollo de las distintas áreas. La Facultad tiene que mantener el desarrollo de la tecnología de la construcción, el control de calidad, el mejoramiento de la mantención de las infraestructuras, la construcción de nuevas de forma eficiente y también la gestión.

Una vez que la Facultad genera un grupo importante en un área, el grupo que la llevó a cabo tiene que seguir trabajando, no repitiendo exactamente lo que hizo, sino buscando nuevos desafíos, viendo qué problemas hay que no estén bien resueltos, que se pueda hacer mejor.

## **El lugar de la Facultad y la ingeniería del futuro**

Las tecnologías y la ingeniería están cada vez más indisolublemente embebidas en la vida diaria. Muchas veces están invisibilizadas,

porque en casi todas las cosas que hacemos o tocamos hay ingeniería metida y no nos damos cuenta, pero por otra parte las profesiones vinculadas a la ingeniería son aquellas que en esta etapa en el mundo tienen un fuerte crecimiento y una fuerte demanda. Creo que la tendencia actual se va a profundizar y vamos a ver que cualquier sector de actividad va a requerir del aporte de tecnología, conocimiento e ingeniería en algún sentido para funcionar bien.

Nosotros como país no vamos a poder desarrollar todo, vamos a seguir siendo consumidores de ingeniería; eso es natural, somos un país chico, pero hay nichos en los que podemos generar ingeniería propia y eso sin duda cuando se logra brinda un valor agregado enorme, por lo que hay que redoblar la apuesta a ser generadores de conocimiento y de nuevas tecnologías. Hay otros ámbitos en los que, aun siendo consumidores de ingeniería y tecnologías, tenemos que lograr tener suficiente conocimiento para usarla bien. Los molinos de viento no los fabricamos en Uruguay, pero entendemos lo suficiente de energía eólica para saber dónde y cómo hay que ponerlos, qué tipo de molinos conviene tener, cómo es el mantenimiento, cuáles son las condiciones justas para las inversiones; eso pasa también por acá, aunque no construyas el molino.

Somos tres millones de personas: no vamos a poder hacer y desarrollar todo, ni siquiera los países más grandes son líderes en todas y cada una de las ramas de la ingeniería. Pero sin dudas hay nichos y espacios que podemos explotar, y en los que el conocimiento que desarrollemos puede ser determinante para el crecimiento nacional. ■

# Rafael Guarga

EL DOCTOR EN ingeniería hidráulica Rafael Guarga fue rector de la Universidad de la República entre 1998 y 2006 y decano de la Facultad de Ingeniería entre 1992 y 1998.

Este cuadro ha tenido mucha repercusión, porque es una forma novedosa de presentar nuestro subdesarrollo en materia científica y, sobre todo, tecnológica.

En el cuadro se examinan dos aspectos, uno que tiene que ver con la capacidad científica y otro con la tecnológica. El tamaño de la cabeza de Superman está asociado a la capacidad científica y el del cuerpo a la tecnológica.

La capacidad científica está medida por el número de investigadores por millón de habitantes y la tecnológica por el número de patentes concedidas a residentes en cada país, que es mucho menor, como es evidente, que el número de patentes registradas por año en el país.

La diferencia es importante porque las transnacionales que quieren vender en el mercado uruguayo registran sus patentes acá, entonces aparecen 100 patentes registradas, pero a residentes son solo dos o tres.

Lo anterior está tomado del *Informe sobre Desarrollo Humano* de 2009, el más reciente de

CAPACIDAD CIENTÍFICA TECNOLÓGICA POR MILLÓN DE HABITANTES  
(INFORME SOBRE DESARROLLO HUMANO, PNUD 2009)

Capacidad científica: número de investigadores por millón de habitantes  
Producción tecnológica: número de patentes concedidas a residentes por año y por millón de habitantes



ESTADOS UNIDOS

FINLANDIA

URUGUAY

Proporciones relativas de Superman

	USA	FINLANDIA	URUGUAY
Cabeza (capacidad científica)	1	1,63	0,1
Cuerpo (producción tecnológica)	1	0,9	0,004

los que, en lo que hace a desarrollo tecnológico, trae la estadística que nos interesa.

Si uno toma un país pequeñito como Finlandia, que tiene cinco millones de habitantes, se encuentra con que tiene más científicos por millón que Estados Unidos; por eso la cabecita del Superman finlandés es más grande que la del estadounidense. Pero su cuerpo es un poco más chico, porque en materia de patentes registradas por millón de habitantes tiene el 90% de las que tiene Estados Unidos.

Uruguay es mucho más pequeño que Estados Unidos pero no tanto más que Finlandia, porque tenemos 3.5 millones de habitantes. Como el Superman uruguayo ni se ve, puse una lupa que multiplica por 20. La cabecita uruguaya tiene la décima parte del tamaño que la estadounidense y el cuerpo es 250 veces más chico.

Esa es la capacidad tecnológica de Uruguay. Si no la cambiamos, no vamos a llegar nunca a ningún lado.

### **La importancia de la ingeniería para la sociedad**

La ingeniería es un aspecto muy importante de la tecnología, que es la aplicación de la ciencia a la transformación de la realidad. Su importancia es sustantiva porque es una herramienta, quizás la principal, que permite avanzar en la incorporación de valor, en particular a lo que el país exporta. Si no la desarrollamos —y en el dibujo aparece cuán atrasados estamos en cuanto a la aplicación del conocimiento científico a la transformación de la realidad— seremos eternos exportadores de materias primas con muy bajo valor agregado.

Si bien esto está cambiando en nuestra relación con el mundo, lo está haciendo muy

lentamente. Eso se registra en el índice del número de patentes concedidas a residentes en Uruguay. Es 4 por 1.000 del índice correspondiente a Estados Unidos y 4,4 por 1.000 en la comparación con Finlandia, que no es tan diferente a Uruguay en tamaño.

La ingeniería como parte significativa de la tecnología es de las principales herramientas del país, pensando a futuro, para salir de la condición de subdesarrollo y, por tanto, para duplicar o triplicar el ingreso per cápita, que significa incrementar, en esa proporción, el bienestar de las personas que lo habitan.

### **Los aportes más importantes de la ingeniería en Uruguay**

En primer lugar, la construcción de infraestructura, que refiere a las carreteras, la urbanización de las ciudades, el saneamiento, la construcción de los puertos, el ferrocarril, los aeropuertos. Todo esto hace al desarrollo del país y lo estamos viendo ahora con la posible instalación de una fábrica de celulosa en el medio del territorio: es necesario sacar esa producción y hay que construir el ferrocarril correspondiente. Todos estos constituyen elementos basales a los efectos del desarrollo.

También todo lo que tiene que ver con la operación de las industrias, que es parte importante de la aplicación de la ingeniería. Cuando hablo de ingeniería me refiero a todas sus ramas: química, civil (estructuras), industrial antes, hoy mecánica, etcétera. También todo lo relacionado a la informática. Todo ello es, llamándolo de forma genérica, la infraestructura necesaria para cualquier proceso de desarrollo, de tal manera que hoy podemos decir que la ingeniería uruguaya, a los efectos de cumplir con los requerimientos que ha demandado el país

en lo que hace al desarrollo actual, ha cumplido su función.

Estos 100 años de la Facultad de Ingeniería permitirán hacer un balance ampliamente positivo en cuanto a lo que la ingeniería ha hecho.

Creo que lo que se viene a futuro le va a demandar a la ingeniería un protagonismo mucho más importante que el que ha tenido hasta hoy.

### **Cómo podría contribuir más proactivamente la ingeniería al desarrollo de la sociedad uruguaya**

Creo que la ingeniería, sin mayores cambios, en un desarrollo casi vegetativo, podrá atender el incremento o el desarrollo de la infraestructura en todos sus aspectos, lo que ya se ha hecho hasta ahora.

Hacia el futuro la demanda sobre la ingeniería es mucho mayor, sobre todo si pensamos en un futuro distinto, en un país que se relacione con el mundo no ya meramente exportando carne, soja y algún elemento avanzado en materia informática, sino con un intercambio que incorpore en forma creciente valor agregado.

Valor agregado, como ya hemos mencionado, es ingeniería aplicada en la producción que el país tenga, sea cual sea.

La nueva gran tarea que hasta ahora no ha desempeñado la ingeniería local, salvo muy puntualmente, es la creación de tecnología.

Esto es esencialmente lo que la ingeniería debería hacer para colaborar en forma proactiva al desarrollo moderno, a un desarrollo de avanzada de la sociedad uruguaya.

La generación de tecnología pasa a ser un nuevo capítulo. Históricamente es un gran desafío en cuanto a la construcción de un país que sea capaz de ofrecerle a su población

un bienestar creciente respecto de lo que se tiene hoy.

Tomemos por ejemplo una empresa uruguaya de gran importancia en cuanto a la producción de leche. Si nosotros exportamos leche estamos exportando prácticamente una materia prima con muy poco valor agregado. Si mañana África se desarrolla, va a exportar leche inmediatamente, ni bien tenga vacas. Por lo tanto, se trata de agregarle valor para exportar otros aspectos que derivan de la leche o vinculándola con otras exportaciones que sean capaces de generar un nuevo producto.

Uno puede decir que esa tecnología se puede importar, pero el que la creó fuera del país no lo hizo para vendérsela a nosotros, sino para desarrollar sus propios productos, de tal manera que difícilmente alguien nos venda las claves por las cuales entra al mundo para que compitamos con él. Eso debe ser desarrollado localmente.

Esa tecnología uruguaya desarrollada y patentada localmente y en el mundo es la que nos permitirá entrar por nuevos carriles vendiendo productos que ya no sean materia prima con precio fijado en los mercados de Chicago, sino con precios que fijamos nosotros.

### **Lo que debe hacer la Facultad de Ingeniería para aumentar su contribución a la sociedad**

En primer lugar, la Facultad de Ingeniería —incluyo a la Facultad de Química y a la de Ciencias, que también están vinculadas a la tecnología— tiene que procurar que se incremente sustantivamente el número de egresados.

En este momento menos de la mitad de los que llegan permanecen en la Facultad, y eso es terrible. Se podría decir que eso no es preocupación de la Universidad, pero lo es porque la v tiene la obligación de mirar en forma amplia

para incorporar al país y al resto de los uruguayos a su visión del futuro.

La tasa de ingenieros por millón de habitantes en Uruguay es bajísima. No podemos pensar en un desarrollo que significa incorporar tecnología a nuestros productos, o engendrar tecnologías que como tales se vendan en el mundo a partir de gente sin el nivel cultural necesario.

Entonces, la principal obligación de la Fing es incrementar el número de ingenieros egresados. El problema de permanencia no solo es de Primaria y Secundaria sino también de la Facultad. Podríamos decir que es un problema conjunto; hay que abordarlo para procurar extender al máximo la capacidad de captura de jóvenes que manifiestan vocación por la ingeniería —por algo llegan a la Facultad—.

El mayor rechazo ocurre con jóvenes que vienen del interior; en general son alumnos muy destacados en sus instituciones de origen, mirados localmente como pequeños genios porque van a estudiar ingeniería, que llegan a la Facultad y quedan afuera porque su preparación de base es insuficiente.

Es responsabilidad de la Facultad y de la Udelar hacer de eso un problema nacional y corregirlo, advertirlo y no quedarse pasivamente pensando que exigir un alto nivel es la causa de que la mitad pierda. Este es el principal de nuestros problemas.

Otro aspecto muy importante es su vinculación con la producción. Creo que la Facultad de Ingeniería ha hecho importantes avances en esto. Si uno mira otras áreas de la Universidad, quizás la facultad más vinculada a la vida productiva del país sea la de Ingeniería —posiblemente la de

Agronomía también, pero está vinculada a un área clásica—.

La Facultad de Ingeniería tiene que vincularse fuertemente para ayudar en este proceso de cambio tan importante, tan necesario y en el cual estamos tan atrás, que es el de generar tecnologías capaces de transformar la calidad de nuestra producción de materias primas con muy poco valor agregado a exportar valor agregado.

En este esfuerzo histórico de estrechar el vínculo con la vida productiva del país, que es lo que estamos enfatizando hacia el futuro, hay cosas absolutamente incomprensibles. En particular, lo que sucede con el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Latu).

En 1975 la dictadura le confirió la tarea de la investigación tecnológica al Latu. Es entendible que la dictadura no haya querido saber nada con la Universidad, aun cuando la tenía intervenida, pero eso no ha sido transformado.

Hoy la investigación tecnológica sigue en manos del Latu desde el punto de vista legal. La Universidad tiene en su Ley Orgánica la investigación científica. Eso está bien, es una tarea permanente y, si se quiere, clásica; desde hace muchos años las universidades, sobre todo en América Latina, son pensadas como los ámbitos en los que se hace investigación científica. Pero la tecnológica aquí está encomendada a otro organismo. Como si la investigación tecnológica y la científica fueran mundos independientes, cuando, como es sabido, son mundos fuertemente interdependientes.

No ha habido una corrección a esa decisión, que creo que es muy necesario hacer ahora, así como establecer una vinculación mucho más estrecha entre la Udelar y el Latu. No quiere decir que no haya vínculos, pero ocurren por fuera de toda normativa legal. ¿Por qué? Porque

no somos conscientes del gigantesco esfuerzo que implica transformar el pequeñísimo cuerpo del Superman uruguayo en algo parecido al robusto Superman finlandés.

Creo que en ese sentido es muchísimo lo que le queda por hacer a la Facultad de Ingeniería.

La primera tarea, entonces, es aumentar significativamente el alumnado, y la segunda, es lograr una vinculación estrecha con la vida productiva y, en particular, con el Latu, que, por cierto, hay que hacerlo de forma institucional. Debe eliminarse ese divorcio que creó la dictadura, que hoy puede corregirse.

### **El futuro de la ingeniería**

En esta perspectiva, más allá de lo que vaya a ocurrir en la vida política y social del país — que no es competencia directa de la ingeniería—, la ingeniería y la Facultad de Ingeniería deben operar como un motor muy importante en cuanto a la mejora del nivel de vida de los uruguayos.

Es decir, hoy somos un país subdesarrollado que vive, en su relación con el mundo, de la exportación de materias primas con poco valor agregado; no estamos más atrás que eso, tenemos un ingreso per cápita que nos ubica en la mitad de la escala. ¿Cómo lo multiplicamos por dos? No hay otro camino que la tecnología.

En la medida en que la ingeniería cumpla este papel creo que su futuro será enormemente promisorio. Eso quiere decir que las familias y los chicos van a ver en la ingeniería lo que hoy, todavía, buena parte de la población ve en el futuro profesional del médico o abogado; por eso esas facultades tienen el peso que tienen en la estructura de la Universidad.

Creo que si logramos que se estimule a los chicos a opciones en las cuales pesen cada vez

más los aspectos tecnológicos vamos a estar cambiando el país.

En ese sentido, el futuro de la ingeniería debería ser impulsar cada vez más los aspectos que mencionamos antes para que se constituya en un motor fundamental en la mejora de la calidad de vida de los uruguayos.

### **Cómo debería prepararse la Facultad para la ingeniería del futuro.**

Como mencionaba antes, lo primero es el aumento del alumnado. No podemos pensar en un futuro sin que haya una duplicación o triplicación de los egresos en diez años. Por cierto, necesitamos ingenieros no meramente para operar tecnologías que vienen de afuera. Por eso el gráfico de Superman está medido en patentes cedidas a residentes, que significa el registro en Uruguay de aplicaciones del conocimiento que son originales a la escala del mundo. Hoy por hoy estamos en el orden de una patente por año por millón de residentes, Estados Unidos tiene 225, y Finlandia 200. La Facultad de Ingeniería debería batallar para aumentar legítimamente su alumnado trabajando con todas las herramientas.

Aquí la cuestión periodística y propagandística es muy importante: es fundamental crear conciencia de que el futuro viene por aquí, de que si hay un futuro mejor, es por este lado. Los medios de comunicación masivos tienen un papel muy importante en esto.

Asimismo, en la preparación para la “ingeniería del futuro” un aspecto central es el fortalecimiento del vínculo con la vida productiva del país.

La Facultad de Ingeniería hace convenios, tendría que hacer muchos más. ¿Cómo? Mostrando que la capacidad de crear

tecnología que puede haber en la Universidad es muy conveniente para aquellos que tienen industrias, que mejoran su producción y pueden pasar de un pequeño mercado interno a exportar al mundo. ■

# Ismael Piedra-Cueva

EL DOCTOR en mecánica de los medios geofísicos y ambientales Ismael Piedra-Cueva fue decano de la Facultad entre 2005 y 2010.

## **La importancia de la ingeniería para la sociedad**

La fundamentación para que la Facultad de Matemáticas expidiera el título de Ingeniero era la necesidad de que el país tuviera técnicos suficientemente capacitados para, primero, ser contraparte defensora de los intereses del Estado en los distintos proyectos de desarrollo en infraestructura que en ese momento se estaban ejecutando (venían empresas del extranjero y no había una contraparte nacional que pudiera controlar e interactuar con la visión del interés nacional). El segundo punto apuntaba a formar parte de la soberanía nacional: tener técnicos que pudieran desarrollar proyectos de interés para el país. Entonces el motivo de fundación de esta Facultad fue contribuir a la consolidación de la soberanía nacional por medio del conocimiento y el desarrollo de infraestructura. Tiene un rol absolutamente esencial.

Y la ingeniería, de alguna manera, también se fue desarrollando desde ese origen, evolucionando como pasa en todas las disciplinas, desde cuestiones bastante puntuales. Inicialmente, fue la ingeniería civil, clásica, con su significado

abarcativo y en contraposición a la ingeniería militar. Lo que nosotros hoy conocemos como ingeniería civil, y aun en sus primeros años, se reconocía una gama de matices bastante grandes. Los que hacen caminos, los que hacen estructuras propiamente dichas, los que hacen construcción, la hidráulica, en fin, hay muchos matices. Gradualmente el país se fue industrializando y se creó la necesidad de desarrollar con mucha fuerza diferentes especializaciones de la ingeniería, como la eléctrica, la mecánica, la agrimensura, la ingeniería química, que se desarrolló con mucha fuerza, y más modernamente todo lo que está vinculado a la ingeniería informática, ingeniería de alimentos, etcétera. La evolución continúa: aparecen las ingenierías con perfiles medioambientales, en energía. Hay una muy vasta área de actuación y en todo hay cosas muy importantes para aportar. En mi visión aquellos países que realmente incorporan la ingeniería en forma masiva realmente construyen futuro.

## **Los aportes más importantes de la ingeniería en Uruguay**

Lo primero, como siempre, es que hay ciclos, pero está claro que la ingeniería de la primera mitad del siglo pasado, y antes todavía, se destacó.

Sin dudas una obra insigne fue la construcción del Puerto de Montevideo. Tomás García de Zúñiga, uruguayo, uno de los primeros ingenieros que se graduó de esta Facultad, tuvo un rol relevante en la construcción y posconstrucción del Puerto. Un proyecto que llevó 40 años desarrollar, que una vez que comenzó la ejecución, como suele ocurrir, por dificultades de distinta naturaleza, hubo que ajustar en cuestiones de entidad. García de Zúñiga no era un ingeniero portuario ni mucho menos, y sin embargo, sus aportes fueron muy relevantes. Hoy vemos la grandeza de esa obra cuando la comparamos con otros proyectos que están en vías de estudio en la zona del Río de la Plata, que encuentran dificultades y desafíos muy importantes también. Así que uno se imagina que en 1900, cuando empezó la construcción del Puerto, poder haber avanzado con una obra colosal como esa fue realmente impresionante. Lo mismo ocurrió con la obra de la rambla portuaria, que hoy asumimos como un elemento integrado a la ciudad, pero construir el muro costanero fue una obra titánica para la época, y lo sería seguramente hoy también.

Otro ejemplo de grandes obras que desarrolló el país y que marcaron el crecimiento de la ingeniería nacional es la represa Rincón del Bonete (se llama en realidad Gabriel Terra), la primera

de llanura del mundo. Normalmente se hacían represas en zona de sierras o montañas, pero en llanura era muy poco habitual y Uruguay fue pionero en esto. Si bien hubo ingenieros extranjeros trabajando, el país desarrolló capacidades propias muy relevantes en esa ingeniería. Ese es para mí uno de los ejemplos que más ilustran cómo se desarrolló la ingeniería a partir de proyectos y de obras ejecutadas. Con la participación activa se logró un nivel de experticia extraordinario partiendo prácticamente de muy poco conocimiento.

Creo que la ingeniería ha hecho contribuciones muy destacadas en la medida en que el país ha desarrollado infraestructura y ha tenido grandes proyectos. Hubo desarrollo de infraestructura pública y de emprendimientos industriales. Es cierto también que después de períodos de gran inversión y crecimiento siguieron largos lapsos en los que hubo una merma de este tipo de inversión. La industria, la empresa, el desarrollo de infraestructura no tuvieron una participación muy relevante en el país por períodos largos de tiempo. Uruguay entró en una suerte de letargo durante varias décadas, fue consumiendo su capital invertido en infraestructura, y eso también llevó a que las empresas de ingeniería perdieran experticia, empezaran a buscar otros nichos; se desarrolló mucho estudio pero poca experiencia en la obra en sí misma. Eso genera estancamiento, luego, otro ciclo, y otra vez la demanda de profesionales crece y también del nivel de conocimiento, porque se puede transmitir de generación en generación.

En la Facultad de Ingeniería hay muchos profesionales destacados que trabajan en distintas disciplinas en el medio, que afortunadamente también aportan sus conocimientos para la formación de recursos humanos. La Facultad, en el proceso de enseñanza y formación, combina con

buen criterio investigadores centrados en aspectos más básicos y fundamentales, investigadores focalizados en la resolución de problemas a corto plazo, y profesionales que desarrollan su experiencia en el medio profesional. La Facultad de Ingeniería tiene el deber de formar ingenieros, y así lo hacemos.

### Los ciclos

Son momentos económicos y políticos. Están asociados. Hubo un largo período en el que el mundo financiero en el país tenía un rol protagónico y el aporte de empresas de ingeniería, de industria, no era visualizado como lo más relevante para el sistema productivo; por lo tanto no era requisito tener desarrollo de infraestructura, efectuar inversiones en desarrollo empresarial industrial, de servicios o de conocimiento asociado. Hay decisiones políticas, claramente vinculadas a los ciclos económicos, pero lo que más controla es la visión de política. Aun en una fase negativa y contractiva de la economía, el país puede decidir planificar y organizar la salida de esa situación por medio de inversiones que tendrán sus frutos a mediano plazo. Hay que levantar la mirada a 10 o 20 años, y para recorrer ese camino hay una secuencia de pasos que hay que tomar desde ahora. Es de a poco, pero es un proceso que se retroalimenta. Creo que está faltando eso: cuál es la visión estratégica, qué tipo de país queremos y qué hacemos para que ello se produzca.

### El momento actual en la serie de ciclos

Después de la salida de la crisis de 2002, se combinó un fuerte crecimiento con políticas que hicieron un viraje para lograr un país más basado en el desarrollo productivo y menos en el financiero. En ese crecimiento Uruguay era una gran aspiradora de la ingeniería. Fue muy

difícil retener a la gente acá en la Universidad, porque había y todavía hay mucha demanda desde la sociedad. Para las empresas del sector privado también hubo un fuerte crecimiento, no solo creció su participación nacional sino también internacional.

Es natural que de lo que más se hable es de la informática, por el impacto que tiene, pero no solo es la informática. Aun las empresas más tradicionales de la ingeniería salieron a competir a nivel internacional y hoy muchas de ellas tienen una fuerte presencia. Obviamente, un poco obligadas por la situación, pero una vez que se posicionan en el contexto internacional empieza a haber otra demanda en cuanto a calidad y tipo de profesionales. En definitiva, todavía hoy ha coexistido ese fuerte impulso del crecimiento. Y eso para nosotros es muy bueno, genera muchas ventanas de oportunidad.

### Cómo se puede contribuir más proactivamente desde la ingeniería a la sociedad

Toda la ingeniería tiene cosas en común, como la forma en que se estructura el pensamiento, que para ciertas cosas no es muy flexible y para otras es muy bueno por el ordenamiento secuencial de las ideas con cierta objetividad. Eso hace que la forma de visualizar los proyectos —sobre todo los grandes— permita una organización eficiente y firme sobre cómo evolucionan las cosas. Los tiempos políticos muchas veces son más cortos que los tiempos de los proyectos y eso complica el desarrollo de las ideas. Además, hay una cantidad de aspectos en los que todavía no tenemos los resultados que nos gustaría. Por ejemplo, que la ingeniería tenga una contribución más fuerte en el desarrollo de la innovación, en lo público y en lo privado. Porque, en definitiva, si no hay innovación, no hay productos nuevos, no se mejora

la eficiencia de productos y procesos existentes, y si no hay elementos nuevos, es muy difícil en un mundo tan globalizado mantener una participación y presencia fuertes, porque todo cambia muy rápido. Entonces para las economías como la nuestra, tan basadas en productos de la tierra, como la carne, la soja, la lechería, lo forestal, el arroz, etcétera, debemos incorporar aun más tecnología. Mantener mercado y competir en las exportaciones requiere esfuerzos importantes, que además deben ser continuos. Es muy difícil de recuperar un mercado que se pierde. Hay gente que trabaja específicamente en eso. Pero a muchos de nosotros nos gustaría dar pasos más lejos todavía y que haya otro tipo de innovación, no solo en productos sino en procesos, en servicios. En resumen, que el país tenga mayores elementos para competir en la exportación, y a su vez para mejorar la eficiencia de la inversión y el gasto público. Imaginemos Salud Pública, con el presupuesto que dedica a la salud, lo altamente beneficioso que sería incorporar más tecnología, más innovación, mejoras de los procesos. O en la educación... No hay rubro de actividad en el que hacer un enfoque más sistémico no genere un beneficio relativamente rápido. Lo que pasa es que a veces hay limitación de recursos humanos, porque Uruguay es un país donde el número de ingenieros por habitante es relativamente pequeño. En Brasil, desde hace más de diez o 15 años, el gobierno central ha establecido un programa con presupuesto exclusivo para fortalecer la formación de las ingenierías a nivel público y privado. El proceso de innovación está muy asociado al manejo y desarrollo de tecnología, así que ojalá tuviéramos el doble de estudiantes y el doble de egresados. Esa es una de las grandes dificultades que tenemos en la Facultad y en la Universidad. La Universidad de la República tiene como

cometido actuar en todas las áreas y tratar de que el conocimiento universitario se desarrolle lo mejor posible. Nosotros, mirando el rol de la ingeniería, sentimos que requiere mayor desarrollo. Y ahí nos encontramos también con las famosas limitaciones presupuestales. La Facultad hace un esfuerzo muy importante en la enseñanza. Ingresan en el orden de 1.300 estudiantes por año, en disciplinas como la matemática y la física, que requieren tratamientos muy especiales. Eso es un desafío hace varias décadas. La Facultad ha trabajado sin descanso y con mucha imaginación, siempre proponiendo y buscando formas nuevas. Pero hay cierto tope. Es muy difícil tener mejores resultados con la relación docente, salones y el número de estudiantes existentes en la actualidad.

#### **Lo que debería hacer la Facultad de Ingeniería para aumentar su contribución a la sociedad**

Claramente debemos tener un mayor número de egresados en todas las disciplinas, y si se pudiera, hasta abrir carreras nuevas o flexibilizar más la currícula. En eso, a pesar de todos los esfuerzos, estamos lejos. Tenemos limitantes que solo nosotros no podemos resolver, como lo presupuestal. Pero tampoco es una facultad que no haya hecho nada al respecto. Todo lo contrario. Se ha reformateado el uso de los recursos, siempre buscando la mejor optimización. No ha habido pereza en cambiar internamente, como por ejemplo con el plan de estudio. Eso es una enorme fortaleza de la Facultad. Otro aspecto, que es un poco más difícil todavía pero que puede depender de nosotros, es que todavía tenemos dificultades en que un egresado sea emprendedor, innovador. En otros países sale un ingeniero y piensa en poner su empresa, su *start-up*, para empezar a trabajar sobre algo que le gustó, o a

partir del proyecto de fin de carrera. Aún eso no ha florecido como nos gustaría. Hay casos exitosos y por eso son suficientes para demostrar que es posible, pero queremos que sea masivo; que un graduado de ingeniero sea un creador de ideas, un creador de trabajo. Como todo, los proyectos tienen una tasa de mortandad alta, pero hay un reciclaje. A veces a corto plazo se ve que la idea no prospera, pero en el camino seguramente aparecen otras. Ese ecosistema de jóvenes emprendedores con base en la ingeniería es imprescindible para tener una economía dinámica. Nosotros no creamos profesionales para ir a trabajar solo a los entes públicos. Eso está bien, porque se necesita, pero también necesitamos de los otros, que abran horizontes. Si no son ellos los que perforan los límites actuales y van más allá, ¿quiénes van a ser? No lo vamos a hacer nosotros con más de 50 años. Eso es lo que típicamente hacen los jóvenes y hay que darles espacio, ayudarlos en los temas financieros y en la estructuración de negocios, cuestiones que están fuera de lo que normalmente enseñamos. Tiene que haber a la salida del espacio de formación formal otros. Hoy en día los hay pero no en la cantidad que se requeriría. Tenemos un deber en fomentar y estimular ese tipo de participación de los jóvenes egresados. Cuando lo miramos desde el punto de vista de la formación no todo cuadra, porque a veces la nuestra es más clásica, y una formación muy estructurada puede ir en desmedro de la capacidad de creación, que es un poco más desestructurada. Hay que ver también otros países cómo han fomentado eso, pero es algo que el país tiene que apoyar y valorar. El otro día escuchábamos gente que había venido de Corea del Sur que decían que hace 50 años su país era del quinto mundo, del subdesarrollo y el atraso, pero había ciertos valores, como la educación, y en

particular la educación universitaria, que es muy valorada a nivel social. La aspiración de la población de todo el mundo era poder estudiar y tener estudios universitarios, porque eso le abría puertas, las puertas del mundo, y eso estaba implantado en la sociedad. Se podían sacrificar muchas cosas y concentrarse en la educación, porque se veía como un logro extraordinario. La sociedad también valora mucho la capacidad de creación y de innovación, que la gente tenga sus empresas. Y si se funden una y mil veces está bien porque así se aprende. No es visto como un fracaso. Es decir, lo es porque hay dinero en el medio y todo lo demás, pero la sociedad tiene que tomar eso como valor y estimularlo, y que la gente tenga esa actitud. A nosotros nos gustaría que fueran los ingenieros los que impulsaran este proceso de transformación, pero es un tema social general, porque no hay área del conocimiento ni de la vida en la que las cosas no se puedan mejorar ni transformar usando la inteligencia. De cualquier tipo de trabajo. Entonces estas cosas se van desarrollando de a poquito, llevan su tiempo.

### **El futuro de la ingeniería**

Seguimos muy atados a una educación tradicional: la matemática, la física, la mecánica. Hoy la formación en ingeniería está tomando giros bastante fuertes en la manera en que se educa y se forma al estudiante. Eso nos va a costar bastante trabajo interno transformarlo, porque también juega en la forma en que los jóvenes piensan. Los grandes números de estudiantes inhiben vías y caminos que en sistemas más reducidos quizás fueron exitosos. Por eso creo que va a ser un trabajo difícil y arduo para la Facultad, porque además los docentes tenemos que avanzar en un proceso de cambio que no es para nada fácil. Pero será trascendental,

porque no se puede pensar que en los próximos 50 años vamos a seguir formando en ingeniería como lo hacemos hoy y como lo hicimos hace 50 años. No es que no haya cambiado, no es que hoy enseñemos lo mismo, pero cierta forma de trabajar va a tener que cambiar o tendrán que aparecer nuevas posibilidades, que no se trabaje de manera tan escolástica —profesor, estudiante—, sino que haya quienes eduquen de otra forma, en base a un proyecto, trabajando más sobre algo en concreto a partir de lo que se va aprendiendo. Hay muchos países que están innovando en ese sentido, entonces la ingeniería va a estar muy atada a cómo es el proceso educativo, porque la forma de pensar de los egresados está condicionada por cómo les enseñan. Es un gran desafío. Otro desafío es que el desarrollo masivo de conocimiento obliga continuamente a ser muy selectivo en qué se enseña y qué se deja de enseñar. Y a veces eso también nos cuesta, porque no se puede enseñar todo, pero lo que no se puede dejar de enseñar es a pensar. Entonces la selección de los temas es muy relevante para que los alumnos tengan una base para seguir aprendiendo, eso es central. Elegir esa matriz, esa estructura básica, es una cuestión muy difícil. Además los propios docentes tienen que ver qué tipo de profesional están formando.

### **El debate entre lo que necesita el país hoy y lo que queremos para el futuro mediano**

Uruguay tiene una dinámica económica tan volátil que pasamos épocas en las que el cuero y los textiles eran los número uno y 10 o 15 años después nada. Pasamos 20 años en los que la soja no existía, y llegó un día en el que la agricultura hizo boom. Entonces cuando hay esos ciclos económicos tan marcados,

si mirás la formación de recursos humanos, que es un proceso a largo plazo, es difícil estar en fase con esos ciclos. La ingeniería eléctrica tiene varias ramas; hay una que es la de potencia, la que está vinculada a la generación y a la transmisión eléctrica. Durante 20 años los egresados con perfil en potencia, ¿dónde iban a trabajar? A UTE, pero UTE no necesitaba mucha gente, así que no había muchos estudiantes de esa especialización. Fue suficiente que UTE comenzara con su plan de desarrollo en energías renovables, ¿y dónde estaban los ingenieros en potencia? No había. Pero ahora sí había interés y fueron surgiendo los estudiantes, junto con una política desarrollada por el MIEM y UTE. A los tres o cuatro años empezaron a graduarse. ¿Pero qué va a pasar a futuro? No sabemos qué demanda de ingenieros habrá, y esos ciclos hacen muy difícil para la institución definir perfiles fijos. No hay más remedio que organizar una currícula en escalones —lo básico y fundamental con alguna movilidad, y un segundo nivel con más elasticidad— que permita perfilarse a distintas opciones con un año de formación complementaria de acuerdo a lo que suceda en el país. No hay otra opción, porque tenemos ciclos económicos rápidos, y eso obliga a que cada cual estructure su formación de grado y posgrado de una manera inteligente y suficientemente flexible para tomar distintos caminos a medida que la situación del país demande profesionales con diferentes orientaciones. Es un desafío grande. ■

# María Simon

LA INGENIERA industrial especializada en telecomunicaciones María Simon fue ministra de Educación y Cultura entre 2005 y 2010, y decana de la Facultad de Ingeniería entre 1998 y 2005, y nuevamente desde 2015 hasta hoy.

## **La importancia de la ingeniería para una sociedad**

El rol de la ingeniería es muy particular, aunque en general no se percibe a primera vista. Cuando andan bien, los sistemas de la ingeniería no llaman la atención, pero cuando no andan bien se notan mucho. La ingeniería es una herramienta esencial del desarrollo. Tiene un rol de transmisión entre las ciencias de base y la aplicación al mundo mismo, añadiéndole el conocimiento tecnológico. En relación al cambio de denominación, cuando una antigua Facultad de Matemáticas se convierte en una Facultad de Ingeniería y una de Arquitectura, empieza el reconocimiento de que el ingeniero no es solamente alguien que sabe matemática y física y la aplica para resolver problemas concretos, sino que además hay una creación de conocimiento tecnológico. Esa creación responde a una epistemología diferente de la de las ciencias físicas. La física es el ejemplo tradicional de ciencia:

elabora teorías y las contrasta con la realidad; la ingeniería también, pero a menudo no trabaja contra la realidad del mundo natural, sino hacia otras creaciones humanas, o satisface necesidades humanas. O, en el caso de la ingeniería en computación, se aplica más la matemática que la física, y además necesita laboratorios de otro tipo que los de las ciencias básicas. Muchas veces ese laboratorio tiene que ser el país. Si uno quiere experimentar con una gran red eléctrica, tiene que ser la red de UTE; no se puede hacer a escala de laboratorio. Otro ejemplo son los biorreactores, sistemas capaces de tratar los efluentes de tambos o curtiembres, que se encuentran cargados de materia orgánica e incluso de metales pesados u otros elementos poluyentes. Los reactores se han desarrollado mucho en esta Facultad, desde hace por lo menos 25 años, con distintas industrias. Se necesita ir a escala real en algún momento; no se puede hacer todo de puertas para adentro. Así, la ingeniería tiene una creación de conocimiento, de distinta naturaleza, y una forma de trabajo y de investigación propias.

Su importancia para una sociedad también resulta esencial en la creación de puestos de trabajo, en la evolución hacia formas

de producción que agregan más valor, de lo primario a algo más elaborado, y en una serie de tecnologías o de puesta en funcionamiento de ciertas tecnologías, en objetos mismos o en sistemas, en formas de organización. A veces la creación no está en el objeto, sino en la forma de organizarlo.

Realmente creo que la ingeniería tiene una relevancia muy grande, que hace al desarrollo económico por el tema de la secundarización o tercerización de la producción, pasándola de primaria a más elaborada y creando puestos de trabajo. Es, en cierto modo, trabajo intelectual en sí mismo, en cuanto a que es creación de conocimiento, diseño. La globalización hace que lo que se diseña aquí se termine fabricando en otro lado; por ejemplo, los circuitos integrados, que están adentro de muchos aparatos, no se fabrican aquí, sino solo en dos o tres lugares en el mundo, pero el trabajo intelectual de desarrollarlos vale y se paga, y genera fuentes de empleo.

También tiene que ver con un ambiente más limpio, si se aplica bien. A veces se contraponen lo tecnológico con lo natural, y justamente hay tecnologías que permiten el desarrollo sin impacto o con el mínimo impacto sobre el medio ambiente. Las curtiembres

antiguas producían mucho más polución que las modernas, y hoy hay más curtiembres pero generan menos polución gracias al tratamiento de efluentes.

Además es fundamental el respeto por el trabajo. Al ingeniero muchas veces le toca dirigir trabajo de otros: ser ingeniero de planta, ingeniero de obra, ingeniero jefe de emprendimiento; y ese respeto por el medio ambiente hay que extenderlo también al respeto por el recurso trabajo, por el recurso tiempo humano.

Una buena definición: la ingeniería trabaja en la aplicación de las ciencias exactas y naturales y el conocimiento tecnológico para resolver temas de importancia social, que sean para el bienestar de las personas y que creen empleo, optimizando los recursos que se emplean, con respeto por el medio ambiente y por la dignidad de los trabajadores. Para mí esa definición resume todo lo que hay que decir.

### **Los aportes más importantes de la Facultad de Ingeniería**

Tal vez el más importante sean los ingenieros mismos. Ingenieros que han sabido resolver temas muy grandes a lo largo de la historia, antigua y actual, y que han demostrado en su gran mayoría un alto sentido ético y de respeto por los trabajadores. Los primeros ingenieros egresaron en 1892. En ese entonces no se llamaba Facultad de Ingeniería sino Facultad de Matemáticas; hubo debates importantes en el país sobre si era necesario, si no era más barato para los pocos que se iban a precisar mandarlos a estudiar a Europa o Estados Unidos. Y claro, si el modelo de país era hacer poquitas obras, unas carreteras

para que la producción del campo llegue al puerto, y no mucho más. ¿Era más barato? Sí, pero estaban comparando dos cosas distintas. Una cosa es hacer algunas obras y terminirlas y otra es desarrollar un país. El desarrollo de un país necesita, como ya lo decía Oscar Maggiolo, que fue nuestro rector, de generación de ciencia, tecnología y cultura endógenas (que no quiere decir “aisladas”).

Alrededor de 1890 empiezan a egresar ingenieros y en la década de 1910, 1920, en las que se desarrollan grandes obras nacionales, hay ya un conjunto de ingenieros mínimo pero suficiente para dirigir y para proyectar la red vial, parte de la red ferroviaria, más tarde la red eléctrica. Como lo hicieron uruguayos, se aprendió mucho. Haciendo se aprende —estas cosas además se aprenden en el campo— y ellos a su vez formaron a otros, generando una larga historia de gente que además siguió muy vinculada a la Facultad de Ingeniería.

Por ejemplo, cuando la construcción de la represa de Rincón del Bonete, la empresa tenía unos fondos que no se gastaron. En muchos lugares, esos sobrantes podrían emplearse para finalidades de corrupción. Acá los ingenieros egresados que trabajaban en UTE pidieron que dedicaran un equipo de ensayo para aparatos de maniobra y transformadores en la Facultad para que, como entidad independiente, certificara la calidad de lo que iban a comprar para construir la red eléctrica. Creo que el aporte principal de la Facultad se da por medio de sus profesionales.

Además, hay otros aportes directos al medio a través de proyectos, convenios con larga historia. Por ejemplo, el primer convenio después de la intervención fue por la construcción

de un puerto; en ese momento era ministro de Transporte Norberto Sanguinetti. Después se siguió una larga serie de obras marítimas, de barcos, de asesoramientos en artes de pesca para las cuales la Facultad también invierte. Construyó un canal hidrométrico, donde se hacen pruebas con un espejo de agua: para simular la corriente de agua lo que se hace es mover un carrito con el que se arrastran modelos (por ejemplo, de buque o de arte de pesca) para que se vea qué pasaría. Una inversión importante es un canal de olas, de una cuadra de largo, donde se producen olas para simular qué pasa con el oleaje, relacionado con las obras marítimas y la navegación. Se han hecho trabajos de asesoramiento en el depósito de sedimentos, y en definitiva, del modelado de las corrientes importantes, del Río de la Plata y del Río Uruguay, sobre todo.

Otro tema que se ha desarrollado largo tiempo es el de la energía eólica, que tuvo algunos precursores muy tempranos por 1940 o 1950, pero que sobre todo se intensificó al final de la dictadura. Hubo gente que volvió al país y que tenía alguna experiencia, cerca de 1990; todo el mundo nos decía que tenía interés académico, que si queríamos hacerlo, bien, pero que no tenía ninguna perspectiva económica. Y basta salir ahora por la carretera y ver la cantidad de molinos y de granjas eólicas, algunas propiedad del Estado, otras propiedad de privados. También se supo negociar con privados porque, para entonces y gracias a haber investigado, se sabía de viento. El primer molino que se instaló en este país lo instaló la Facultad de Ingeniería en un convenio con UTE y con la Intendencia de Maldonado en la Sierra de Caracoles. Y era de un tamaño que, en comparación con los

que se están instalando ahora, parece un juguete. Ahora está instalado en el Parque de Vacaciones de UTE con la finalidad de ahorrar energía en esa instalación, pero también con fines didácticos. Eso nos permitió saber sobre el viento, sobre cómo se integra esa energía, que es bastante aleatoria porque se genera cuando hay viento, en un sistema eléctrico en el que la demanda sigue otra pauta temporal. Se supo integrar al punto de que en este momento somos, si no el país que tiene más porcentaje de energía eólica, uno de los que tiene más. A veces se vende energía de origen eólico a Argentina, con lo cual tampoco ese país quema combustibles fósiles. Esa es una línea que se sucedió a lo largo de muchos convenios.

Se trabajó también en eficiencia energética, porque la mejor generación es el ahorro. Se está trabajando fuerte ahora en energía solar: la Facultad tiene un laboratorio de energía solar en Salto, que está muy bien instalado y puede hacer medidas precisas en todo el territorio nacional y detecta elementos interesantes sobre el potencial solar, que además se compensa bastante con el eólico (porque hay viento más bien de noche). Estamos emprendiendo ese camino con la energía solar. Por ahora los paneles son relativamente caros, pero eran mucho más caros cuando empezamos.

También se ha trabajado sistemáticamente en microelectrónica. Empezó siendo un grupo muy pequeño, modesto, y con el tiempo ha convocado cada vez más profesionales, gente que además creó conocimiento porque tiene investigación sobre el tema. Han asesorado al Centro de Construcción de Cardioestimuladores, que fabrica marcapasos

y muchos otros dispositivos de aplicación biológica. Y hace poco se instaló aquí una empresa microelectrónica internacional para hacer diseño porque aquí hay gente para hacerlo. Que haya o no recursos humanos hace tanto la diferencia como si hay energía o no.

Hay, además, toda una línea muy importante en el monitoreo de cuestiones rurales. Monitoreo de cultivos, detección temprana de plagas, apoyo biológico en la cría de ganado, en el proceso de obtención de la carne: son procesos que a veces no parecen ser tan de ingeniería, sino más primarios, pero la incorporación de tecnología hace la diferencia entre un producto de calidad garantizada y otro que no la tiene.

### **Cómo puede contribuir la Facultad más proactivamente al desarrollo**

Tenemos que estimular la demanda de conocimiento. No se trata de que que ya sepamos todo y estemos esperando que nos vengan a consultar, pero podemos desarrollar conocimiento; tenemos la potencialidad y el método. Hemos tenido muchas veces demanda de conocimiento por parte del Estado —UTE, Dirección de Hidrografía, Dirección de Puertos, Antel— en forma directa o indirecta. Algunas de esas empresas han creado fondos sectoriales a los que se pueden presentar proyectos y muchas veces la Facultad de Ingeniería lo hace. También hemos tenido demanda de empresas privadas (en la esfera del tratamiento de efluentes en general son privados), también en el tema de protección forestal.

Hace falta estimular la demanda porque en este país aproximadamente el 80% de la investigación la realiza la Universidad de la República y eso no es bueno. Sería ideal

que la Universidad hiciera más, pero además que otros hicieran mucho más. Hay poca investigación en el país, hay poca creación de conocimiento.

Las empresas que empiezan a trabajar con la Udelar no se arrepienten. Es una buena señal. Quiere decir que no les fue mal, que de repente tenían algún preconceito, como que la Universidad tiene tiempos demasiado largos, y descubrieron que no es así: la Universidad sabe entender tiempos de otros, incluso a veces tiempos extremadamente perentorios. Hay que saber hacer crecer esa demanda de conocimiento porque ahí se obtiene una financiación superior. El Estado nunca tiene que bajar los brazos, no tiene que disminuir su inversión, porque sería como sacarle el combustible a un avión que recién está levantando.

Avizoramos muchísimas cuestiones en las que podríamos contribuir; algunas ya están en proceso. Estamos empezando a trabajar con la Intendencia de Montevideo para optimizar el transporte urbano; también en temas de caminería. Se podría hacer mucho en temas de optimización en general, de logística, de procesos industriales variados, de electrónica y telecomunicaciones, de gestión eléctrica y eficiencia energética a distintos niveles. Hay proyectos de alumnos, y de alumnos con profesores para este tipo de cosas.

Lo que le falta a la Facultad de Ingeniería es articular esas soluciones.

La diferencia del conocimiento tecnológico con otro tipo de conocimiento es que se desarrolla junto con: hay que tener un interlocutor y un ámbito de aplicación. Lo que nos está faltando es más demanda de conocimiento, más necesidad de innovación. Eso

se viene y se va a venir, y si no lo hacemos a tiempo lo vamos a perder, porque con soluciones compradas no se compite. Si no llega la demanda de mayor innovación y creación será grave, porque nuestro aparato productivo va a tener problemas. Y eso es lo que nos permite desarrollar nuevas aplicaciones e incluso educar a los futuros ingenieros: se forma distinto un ingeniero en una facultad que colabora con el medio que en una facultad que no lo hace, porque se educa a la luz de determinada actividad.

Nos está faltando fomentar la demanda a nivel tanto público como privado. En general, cuando se habla del sector productivo se piensa en lo privado, pero en este país hay mucha producción pública y también hay direcciones que generan políticas (de medio ambiente, de gestión del agua, de telecomunicaciones, de energía). En esos lugares es vital generar una interacción fuerte con la Universidad, porque les puede servir de centro de investigación y desarrollo, y es lo que le corresponde además: es la Universidad de la República.

Por medio de ese crecimiento de la demanda de conocimiento se desarrolla una espiral positiva. Si se generan políticas de medio ambiente o de mejor gestión de la energía, por ejemplo, a su vez las empresas que están regidas por esas políticas van a demandar a los profesionales que apliquen tecnologías eficientes, las mejores, las más nuevas, que creen soluciones a su medida. De la política nacional pasamos a lo que hacen los particulares y de la actuación directa de la Facultad sale una mayor esfera de acción, para sus egresados y para los de otras carreras. Por ejemplo, a raíz de las políticas ambientales, carreras como

las de geógrafo o arqueólogo, que antes eran más bien seguidas por gusto personal, tienen una demanda laboral importante; lo mismo pasa con las carreras de ingeniería.

Con esto se relaciona el desarrollo de los posgrados en ingeniería, que crean conocimiento de amplio nivel, creación autóctona o investigación sistematizada que le da más lugar al egresado de grado. En la medida en que se genera una mayor demanda de conocimiento aparece una mayor exigencia en el nivel.

### **El lugar que ocupará la ingeniería**

Creo fuertemente que el desarrollo se basa en la creación científica y cultural, en la creación humana. Además, confío en ese tipo de desarrollo, porque se pueden obtener ventajas temporales. Por ejemplo, hay países que funcionan o que partieron del uso de mano de obra barata y no es deseable esto para Uruguay, porque va en detrimento de las condiciones de trabajo y además es un camino corto. Necesariamente es un camino que se agota, porque si la gente mejora su nivel de vida —que es lo que todos queremos— la mano de obra deja de ser tan barata. No tenemos una población grande ni perspectivas de crecer demasiado, por lo que nos enfrentamos al desafío en calidad. Tenemos que apuntar a una producción de calidad para exportar, pero también para nosotros, tenemos que aspirar a una vida de calidad, y en eso la ingeniería desempeña un rol muy importante. Hay un problema: tenemos muchos menos ingenieros de los que precisaríamos, como cuatro veces menos.

Estamos haciendo un esfuerzo importante, en primer lugar, para que la gente no abandone la Facultad. Poniendo, por ejemplo, talleres en los primeros años para

entusiasmar, y se está logrando una mayor adhesión. También tenemos que hacer difusión entre los jóvenes —y ahí sí habría que decir “y las jóvenes”—. En la Udelar en su conjunto hay cerca de 67% de mujeres, mientras que en la Facultad de Ingeniería en la mayoría de las carreras tenemos 25%, 20% y a veces menos, salvo en ingeniería química y de alimentos. Si se igualara la cantidad de mujeres y de hombres que entran, creciendo el número de mujeres, se incrementaría nuestra matrícula en 40%. La gente tiene derecho a descubrir su vocación y tiene derecho a seguirla y disfrutar de ella; y el país no está en condiciones de desperdiciar talentos.

Evidentemente, para eso precisamos un presupuesto que acompañe, porque en este momento un crecimiento de 40% de la matrícula nos daría problemas locativos y de cantidad de docentes. Pero uno no tiene que auto-restringirse: eso se tiene que resolver porque hay que tomar consciencia de que es muy importante que haya más ingenieros. Estamos en una relación de 3 a 1 o 4 a 1 con países limítrofes como Brasil y de 6 a 1 o más con países más desarrollados. Eso es una traba para el desarrollo. En este momento hay más demanda que oferta de trabajo en todas las especialidades.

Otro esfuerzo que estamos haciendo en ese sentido es la generación de profesiones vinculadas a la ingeniería, como la de los tecnólogos, que cubren un rango en el que hay incluso más escasez que en el de los ingenieros. Hay gran falta de mandos medios, de buenos programadores, buenos capataces, buenos tecnólogos mecánicos. Están teniendo pleno empleo. El primer tecnólogo mecánico egresó en 1996 o 1997 a partir de un acuerdo entre la Universidad de la República y la UTU;

ahora se encamina como iniciativa a tres partes con la UTU y la Universidad Tecnológica. Además, algunos tecnólogos cursan ingeniería después: se reconoce bastante de lo que aprendieron y se ven motivados. La idea, de todos modos, es que con eso puedan trabajar, y están trabajando bien.

### **Cómo debería proyectarse la Facultad para la ingeniería del futuro**

Más y mejores egresos es la clave. Fortalecer los posgrados es importante, porque mejora el cuerpo docente, que es mejor en la medida que investiga. Es muy distinto un profesor que investiga, aunque no enseñe lo mismo que está investigando, porque a la luz de la investigación, del que hace las cosas, la explicación y la comprensión son distintas.

Además, aspiramos a que no todos nuestros posgraduados se queden solamente en la institución; queremos que ingresen en los organismos nacionales que hacen políticas, que deberían hacerse en el mayor nivel y en cooperación internacional. En general, la gente que hace posgrados se internacionaliza de alguna manera porque procuramos que haga una estadía en otra parte, que la tesis sea codirigida por un profesor de otro país. Nos da la seguridad de que estamos en un nivel correcto. Entonces, si ubicamos gente con altos conocimientos en organismos que hacen políticas sería bueno para todo el mundo, porque se harán buenas políticas con visión a futuro para prevenir las cosas antes de que pasen.

Como otro efecto de los posgrados es la inserción directa en la producción con mayor innovación, con más capacidad de creación. No olvidemos que la ingeniería es una carrera altamente vinculada con las personas.

A veces no se la percibe tan así, pero toda cosa de la ingeniería es usada por seres humanos, aunque a veces sin que se la vea. Y, paralelamente, las cosas más importantes no se ven. Uno se comunica a través de satélites que no están a la vista, por ejemplo; nosotros lo sabemos porque se desarrolló uno aquí y se puso en órbita. Cuando algo funciona bien uno no se preocupa: Internet funciona, las redes de computadoras funcionan, las computadoras funcionan. Todo eso ha cambiado nuestras vidas en forma drástica y para mejor. Si bien hay muchas cuestiones que se pueden criticar en el mundo actual, el nivel de vida medio ha mejorado en gran medida gracias a la tecnología.

Por el contrario, el medio ambiente sufre deterioro y las desigualdades se han acentuado; sobre estos fenómenos deberán trabajar tanto las nuevas tecnologías como las ciencias fundamentales, sociales y humanas. ■







# El futuro comienza hoy

EN 1885 SE CREABA en nuestro país, y en el seno de la Universidad de la República, la Facultad de Matemáticas y Ramas Anexas. Albergaba varias disciplinas que luego, con el correr del tiempo, se desarrollarían en facultades independientes dentro de la propia Universidad de la República, como las actuales facultades de Ingeniería, Arquitectura y Ciencias.

En 2015 se cumplieron 100 años de la creación de la “Facultad de Arquitectura” así como de la denominación de “Facultad de Ingeniería y Ramas Anexas” correspondiente a nuestra actual Facultad de Ingeniería. Este centenario es lo que hoy conmemoramos.

Hay que señalar que, hasta la creación en 1987 de la Facultad de Ciencias, dos disciplinas básicas como la Física y las Matemáticas se cultivaron fundamentalmente dentro de la Facultad de Ingeniería. También hoy se desarrollan aquí, pero coordinando sus actividades con los respectivos institutos de la Facultad de Ciencias.

## **Agente de cambio económico**

Para apreciar el fuerte impacto que ha tenido en el desarrollo del país la existencia de nuestra “centenaria” Facultad, basta repasar el excelente material editado en 2005 por la Asociación

de Ingenieros, titulado *100 años de Ingeniería construyendo el Uruguay*. Allí se presentan las 100 realizaciones más significativas de los ingenieros uruguayos en el último siglo; el resultado, sin duda, impresiona al lector.

Sin embargo, estos logros no deben hacernos perder la perspectiva: nuestra economía, en todo el siglo considerado, ha estado vinculada al comercio mundial por medio de la exportación de materias primas con reducido valor agregado. Esto, como es sabido, le fija un techo al desarrollo del país. Ese techo solo podrá ser superado mediante una transformación sustantiva en la naturaleza de la producción local exportable. De la actual situación, en la que el intercambio comercial con el mundo se establece sobre la base de productos de bajo valor agregado y cuyo precio se fija por la competencia entre quienes ofrecen bienes semejantes, deberemos transitar hacia un intercambio comercial de naturaleza progresivamente diferente. Deberá incluir, por cierto, lo que hoy producimos, pero deberá incorporársele, y con peso creciente en el tiempo, una componente de bienes tangibles e intangibles que incluyan “creación tecnológica” como elemento de valorización y de diferenciación de estas nuevas exportaciones.

El objetivo de avanzar en un cambio progresivo de la naturaleza de nuestras exportaciones, objetivo sin duda ampliamente compartido, supone grandes transformaciones dentro de lo que denominamos “el país productivo”. En estas transformaciones, nuestra Facultad deberá jugar un papel muy significativo.

Hoy el país tiene cerca de 200 egresados anuales en ingeniería por millón de habitantes, en su gran mayoría provenientes de la Fing. Sin embargo, en aquellos países cuya vinculación económica con el mundo tiene las características a las que aspiramos, dicho índice trepa a valores varias veces mayores: en Estados Unidos era de 631 y en Finlandia, de 1.575, según números de la UNESCO para 2010. Se trata, respectivamente, de una potencia mundial y de un pequeño país cuyo intercambio comercial con el mundo, 50 años atrás, se basaba también en productos de bajo valor agregado.

Por lo tanto, es claro que una gran tarea para nuestra Facultad es tomar la iniciativa en un esfuerzo nacional —que compromete también a la Administración Nacional de Educación Pública— para que, en un plazo corto, se duplique el número actual de egresados en ingeniería. Por sí solo, ello no causará un cambio en la

economía del país, pero se acompañará con una transformación posible y necesaria.

Por otra parte, si se examina la realidad productiva del país desde el punto de vista de la capacidad de “creación tecnológica” medida, por ejemplo, por el número de patentes que registramos los residentes en Uruguay, nos encontramos con cifras sorprendentes (por lo reducidas): una patente por año por cada millón de habitantes. En Estados Unidos eran 244 y en Finlandia, 214 (según el informe 2009 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).

### **¿Qué hacer?**

Decía José Pedro Varela, 30 años antes de que se crease la Facultad de Matemáticas y Ramas Anexas: “Las generaciones que ahora se educan, si no quieren quedar rezagadas, ser instrumentos inútiles en la economía nacional, necesitan prepararse para hacer frente a las exigencias, no de la época actual, sino de la época futura”. Tenía razón entonces y también la tiene hoy. Si las exigencias del futuro inmediato son las que antes formulamos, y una amplia mayoría acuerda con ellas, la pregunta es cómo estamos preparando a las generaciones de hoy para que el país pueda transitar hacia esa “época futura”.

¿Qué estamos haciendo como sistema educativo nacional para que el índice de ingenieros que egresan de nuestra Facultad tenga un ascenso significativo en la próxima década? Es sabido que la mitad de los estudiantes no continúan sus estudios luego de transcurridos dos años de su ingreso. Si esto pudiera atenderse con la urgencia que la realidad demanda, podría obtenerse un avance todavía insuficiente pero significativo.

¿Qué estamos haciendo hoy para que los notablemente bajos índices de “creación tecnológica” crezcan aceleradamente respecto de las cifras mínimas que hoy presenta Uruguay?

Es sabido que el mercado interno tiene una conducta conservadora en materia tecnológica. Sin embargo, a la escala del mundo, la “creación tecnológica” uruguaya, si es buena, puede encontrar mercados muy amplios que permitan desarrollos imposibles de imaginar si nuestro horizonte es la escala local. Para que esto sea posible se requieren, entre otras, acciones de apoyo por parte del Estado que vayan más allá de las clásicas ayudas puntuales a proyectos individuales.

Naturalmente, estos cambios tan significativos no dependen exclusivamente de la Facultad de Ingeniería o de la Universidad de la República, pero no menos cierto es que sin

decisiones oportunas a tomar en estas instituciones, los avances se enlentecerán y los procesos a impulsar se verán como quimeras.

El aniversario de los 100 años de nuestra Facultad de Ingeniería es un buen momento para examinar críticamente un pasado que otros construyeron y para reflexionar sobre un futuro en el que actuarán quienes hoy se están formando o se habrán de formar como ingenieros.

Sobre ese futuro a construir queremos afirmar que, desde la Facultad de Ingeniería y la Universidad de la República mucho se puede hacer para que se concreten los sueños más ambiciosos que hoy podamos tener. ■

GUARGA es ingeniero y doctor en Ingeniería. Entre 1975 y 1985 estuvo asilado en México. Fue rector de la Universidad de la República y decano de la Facultad de Ingeniería, y por su actividad creativa en materia tecnológica ha recibido los premios Nacional de Ciencia y Tecnología (México), Génesis (Uruguay), FIMA (España), Rolex (Suiza) y Techaward (California). Es miembro de la Academia Nacional de Ingeniería y de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina.

# El líder silencioso: la informática en Uruguay

URUGUAY ES el primer exportador en términos per cápita de software y servicios informáticos de América Latina, y el tercero en términos absolutos. El sector aporta al país más de 300 millones de dólares, genera más de 16.000 puestos de trabajo y tiene un porcentaje de desocupación negativo. Todos estos logros no son obra de la casualidad, sino de una apuesta del país y un crecimiento continuos que van a cumplir medio siglo.

## Cuando solo era computación

Entre 1968 y 1969 se creó la primera carrera universitaria de computación, la que otorgaba el título de “computador universitario”. La Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República compró e instaló la primera computadora, cuyo uso fue fundamentalmente en la enseñanza, aunque también fue aplicada para los primeros procesamientos de interés del país, como los censos nacionales de la época. Cabe aclarar que en ese entonces no se hablaba de “informática”, sino de “computación”.

La creación de la carrera de computador universitario y el interés creciente de los ingenieros eléctricos de la Udelar en la computación pueden considerarse pilares en el desarrollo de la

computación académica en el país, pero seguramente el gran espaldarazo al mencionado desarrollo se lo dio la creación del Programa de Desarrollo de Ciencias Básicas (Pediciba), que en cierto modo es fruto del trabajo, sobre fines de la dictadura, de un grupo de científicos y profesionales residentes en el país, con el apoyo del licenciado en Biología Braulio *Orejas* Miranda. Preocupados por la forma en que el régimen de facto había afectado la calidad universitaria, comenzaron a formular una estrategia que permitiera revertir la situación. Pusieron el foco en la repatriación de profesores, pensando en retornarlos a sus lugares de investigación y docencia anteriores al golpe de Estado. Fueron los primeros pasos en la formulación de la estrategia que culminaría con la creación del Pedeciba, en octubre de 1986, por un convenio entre el Ministerio de Educación y Cultura y la Udelar, y con la activa participación del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La Ley de Presupuesto Nacional de 1995 estableció al Pedeciba como programa permanente.

Para los informáticos fue particularmente importante la inclusión de la disciplina como una de las ciencias básicas del programa, ya que resultó la base fundamental para su desarrollo académico en Uruguay. Se lo debemos a la visión

de algunos informáticos de entonces y también a la generosidad de los científicos de áreas más tradicionales —matemática, física, biología y química—, que aceptaron y promovieron la inclusión de esta disciplina que aún estaba naciendo.

El programa está vigente y se ha transformado en la herramienta por excelencia para el desarrollo académico y de investigación de las áreas que lo integran.

## Más allá de la academia

La otra cara de la producción académica, la industrial, representada por la Cámara Uruguaya de Tecnologías de la Información (CUTI), permitió que se llegara a cifras de exportaciones muy significativas.

El temprano surgimiento de la formación académica en el área de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) —que posteriormente recibió el apoyo del Pedeciba—, la puesta en marcha de centros de desarrollo en grandes empresas y la generación de líderes empresariales —que dado el limitado mercado local debieron rápidamente buscar nuevos mercados para sus emprendimientos— posibilitaron el surgimiento de capacidades profesionales y empresas desarrolladoras de tecnologías competitivas internacionalmente, que hoy conforman

el tejido empresarial del sector, y que lograron aprovechar la “escala Uruguay” para la implementación e implantación de sus soluciones, a la postre globales.

Los egresados de las primeras carreras universitarias de la Facultad de Ingeniería de la Udelar vinculadas al área —en particular, computadores universitarios, ingenieros eléctricos e ingenieros de sistemas— fueron los pioneros en la instalación de empresas que continúan siendo exitosas. Así, a partir de finales de la década de 1980, la industria del sector consiguió una temprana internacionalización respecto de los demás países de la región.

### **De acá a Dinamarca**

En 2015 Uruguay se destacó por la creación de un software para mejorar la pesca industrial y lograr un importante ahorro de combustible. El proyecto fue liderado por la empresa AcruSoft y revolucionó las costumbres de la industria pesquera en mercados en los que existe una fuerte tradición en esta actividad, como Dinamarca, Islandia y Noruega. Según *180.com.uy*, la empresa fue creada por Frank Chalkling, un ex capitán de navío nacido en Paysandú. El software creado por Chalkling permite predecir el comportamiento del sistema de pesca: cuál va a ser

la apertura de la red (horizontal, vertical), el volumen de agua filtrada, la resistencia, y dependiendo de esta, se deduce el consumo de combustible del barco.

Este importante desarrollo industrial del país no habría tenido lugar sin la temprana y continua dedicación de la academia al desarrollo de la ciencia informática, lo que demostró una vez más el acierto de las palabras del primer director del Pedeciba, el doctor Roberto Caldeyro Barcia: “Sin ciencia básica no hay innovación, ni tecnología, ni industria, y sin industria un país se viene abajo”.

### **Ellas se hicieron un lugar**

En estos tiempos de transformaciones diversas, muchas de estas positivas, deseamos resaltar el aporte de las mujeres en este camino de avance de la informática. Tal vez no sea casualidad que el primer título de magíster que otorgó la Fing fue a una ingeniera en computación, o que la nueva área del Pedeciba —la de Bioinformática— se encuentre liderada por una mujer, o que 50% de los investigadores del área Informática del Pedeciba sean mujeres. Es muy alto el porcentaje de mujeres que trabajan tanto en el área académica como en la industrial, vinculadas directa o indirectamente con

la capacitación y producción del sector de las TIC, y se desarrollan múltiples actividades con el fin de atraer más representantes del género femenino al sector.

Quizá la expresión de Rosi Braidoti colabore, en parte, a comprender este cambio: “El factor tecnológico no debe considerarse la antítesis del organismo y de los valores humanos, sino una prolongación de lo humano, intrínsecamente ligado a él”<sup>1</sup>. ■

BERMÚDEZ es historiadora docente del Instituto de Historiología de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (Udelar) y profesora agregada en el Centro Universitario Región Este (Udelar).

ASUAGA es ingeniera de sistemas de la Facultad de Ingeniería (Udelar) y hoy se desempeña como asistente académica del decanato de la Facultad de Ingeniería.

TRAVIESO es estudiante de ingeniería química y trabaja en el Área de Comunicación de la Facultad de Ingeniería (Udelar).

1 Braidoti, Rosi. *Cyberfeminism with a Difference*. En: CD-Rom, Mediawise, Abril, 1998. Disponible en [www.let.ruu.nl/womens\\_studies/rosi/cyberfem.htm](http://www.let.ruu.nl/womens_studies/rosi/cyberfem.htm).

# La Agrimensura en nuestro país: una trayectoria de casi dos siglos

UN DÍA de 1826 cruzó el Río Uruguay, junto con el ejército de Buenos Aires, un joven de 23 años. Su edad ocultaba una vasta experiencia militar y científica, dominaba ciencias tan difíciles como la astronomía de posición, la geodesia, la cartografía, la geografía y la topografía. Su uniforme militar no le impedía cargar permanentemente con el grafómetro, la brújula, la cuerda de medir, planos, mapas y su cuaderno de anotaciones. Había estado en La Pampa en la tristemente célebre frontera, que inspiró historietas, novelas y películas en las que se les disputaban tierras a los “Indígenas Pampas”. Un paisaje chato, monótono e inhóspito no era el territorio que atraería la curiosidad científica del joven; sería el paisaje suavemente ondulado regado de ríos y arroyos de la Banda Oriental que lo haría, y su corazón lo cautivaría una joven lugareña nacida en San Carlos. Ese paisaje diverso, sin extremos, con sus montes galería, sus cerros chatos, sus serranías accesibles, sus mares de piedra, los pastizales y montes de pradera, los ríos cristalinos zigzagueantes, los extensos humedales, las llanuras inundables, las cuchillas transitables, las costas con inmensos arenales, la diversidad de flora y fauna. Las habilidades adquiridas en la frontera, en la lucha con los bravos Pampas en un territorio

inhóspito, con largos períodos de soledad, le serían más que suficientes para internarse en el territorio oriental y todos los días descubrir algo nuevo: un ñandú macho con sus charabones, roedores de tamaño suficiente para alimentarse una semana, trinos y cantos de pájaros desde el alba al atardecer, flores tan bellas y frágiles como la flor del zucará, y en medio del verde monte descubrir un ceibo en flor. Su curiosidad no se limitó a deslumbrarse con un paisaje sorprendente a cada paso, también tuvo la capacidad de observar las riquezas naturales, los minerales, la geología, la navegabilidad de sus ríos y la fertilidad de sus tierras, que serían la base del desarrollo futuro.

“Es a la multitud y situación de los ríos, que muchos pueblos deben sus progresos y la fortuna de que gozan, atrayendo a sus márgenes centros de población y de trabajo, que llevan en sí mismo gérmenes de abundancia y de vida”, escribiría.

Ese joven inquieto, estudioso, observador y dispuesto no pasó inadvertido ante los ojos preocupados de los comandantes militares del Gobierno Provisorio. Le transmitieron a José María Reyes dos órdenes que marcarían profundamente el desarrollo futuro de Montevideo.

En 1829, cuando los patriotas orientales ingresan a Montevideo, le ordenan demoler la muralla y trazar la Nueva Ciudad; la paz materializada en el territorio. Los orientales habían logrado atravesar las murallas luego de 18 años de intentos frustrados, de sitios, de batallas ganadas y perdidas, de traiciones, de pactos, de éxodos y exilios. Esa muralla era no solo un obstáculo al progreso sino un símbolo de la ocupación colonial. El comienzo de su destrucción fue un acontecimiento público y la prensa registró a los dos pobladores que tiraron las primeras piedras. El joven Reyes, como militar que era, cumplió las órdenes de sus superiores, pero en su cabeza rondaba otra preocupación: cómo resolver el problema de la tierra.

Era una demanda de los pobladores que poseían tierras, otorgadas de mil maneras, pero que no tenían seguridad jurídica. La República era muy joven y la paz era frágil, la historia lo demostraría. Es así que entre la demolición de la muralla y el cálculo de la Nueva Ciudad Reyes se hizo tiempo para convencer al ministro de Gobierno, Giró, sobre la necesidad de crear el Departamento Topográfico. Él había trabajado en la Comisión Topográfica de Buenos Aires, y esa experiencia le sirvió para diseñar una de las

primeras oficinas técnicas del naciente Estado y proponer la creación de un sistema de administración de la tierra; diría: “El establecimiento de la Comisión Topográfica no solo la demandan los intereses de la sociedad en general sino los más próximos e importantes de la hacienda pública... Así es que planificado un Departamento Topográfico, los elementos con que se organice, y las aplicaciones que él despliegue determinarán sus compromisos. El tiempo perfeccionará esta institución y el país habrá ganado mucho...”.

Así, quedó asentado el sistema de administración de la tierra, que le otorgara a Uruguay la certeza jurídica que permite hoy desarrollar una fase superior: es la base del ordenamiento territorial y desarrollo sostenible. No es posible desarrollar el ordenamiento territorial si no se dispone de un buen sistema de administración de la tierra. Es así que Reyes moldeó la profesión del agrimensor integrada a ese sistema, que permite resolver el problema de la tierra, le otorga un rol fundamental en esa solución, a tal punto de que es inscripto en el registro de la Comisión Topográfica por él presidida como el Agrimensor N° 1. De esa manera, la profesión de agrimensor fue reconocida, regulada y registrada.

El siglo xx es testigo del abandono progresivo de las brújulas, sextantes, cuerdas, cadenas, escuadras de campo y planchetas; al teodolito se le incorpora definitivamente las cintas de medir, las reglas de cálculo, las primeras calculadoras mecánicas, los tiralíneas, los planos en tela. También se incorpora el “Sistema Internacional de Medidas” eliminando el uso de la vara y la cuadra en favor del metro y la hectárea.

En forma paralela a las mejoras tecnológicas se dictan un conjunto de leyes orientadoras y ordenadoras del desarrollo inmobiliario: la Ley de Centros Poblados (1946) ordena el crecimiento de las ciudades, la Ley de Propiedad Horizontal habilita la división de las propiedades en apartamentos para facilitar las enajenaciones; se establece la obligatoriedad del Plano de Mensura inscripto para las transmisiones de dominio de bienes rurales (1944) y urbanos (1966).

Los avances tecnológicos y la modernidad en materia legal sirven de contexto para la formación de los nuevos profesionales: durante 1915 la decimonónica Facultad de Matemáticas da paso a las nuevas Facultad de Ingeniería y Ramas Anexas y Facultad de Arquitectura; será la primera la responsable

de expedir los títulos habilitados a los futuros agrimensores. Durante 1936 se reformulan los planes de estudio priorizando el dictado de matemáticas, física, topografía, geodesia, cartografía, agrimensura legal, catastro y economía política; el mismo año, la Intendencia Municipal de Montevideo destina una porción de sus tierras para la construcción de su actual edificio.

Los avances tecnológicos, legales y en infraestructura fueron acompañados por la actualización en los planes de estudio; la formación original de dos años de 1915 es llevada a tres años durante 1947. El plan de estudios de 1969 agrega un cuarto año; el plan de 1974 modifica algunas materias y cambia la denominación a “Ingeniero Agrimensor”. El Plan 1992 incorpora innovaciones tecnológicas, profundiza el estudio de las “ciencias duras”, aumenta la diversificación profesional de los egresados y lleva la carrera a cinco años. Actualmente, se dictan las materias del Plan 1997 para Ingeniero Agrimensor y Plan 2011 para Tecnólogo en Cartografía.

Entre los componentes axiológicos de toda profesión siempre vamos a encontrar tres: la componente teórica, la componente práctica y el cumplimiento de la demanda de la sociedad.

Podremos encontrar profesionales dedicados a la investigación teórica o al estudio de los casos prácticos de aplicación cotidiana; podremos estar trabajando en bibliotecas, oficinas, estudios o a la intemperie. Lo que siempre hemos de tener presente es que existe una sociedad que requiere de nuestras prácticas, de nuestros leales saber y entender, de nuestros criterios; todo bajo el filtro de la actitud crítica, el método científico y el librepensamiento.

La sólida formación teórico práctica de los ingenieros agrimensores permite, entre otras cosas, tener garantizada la seguridad jurídica con la identificación de todas las propiedades inmuebles de nuestro país por medio de un catastro que es ejemplo a nivel mundial. La construcción civil, los litigios legales, proyectos geofísicos, informáticos, avaluatorios, fotogramétricos, agropecuarios, hidrológicos y cartográficos son espacios naturales para la actividad de los actuales ingenieros agrimensores y tecnólogos en Cartografía.

La tecnología ha avanzado notablemente en las últimas décadas. El auge de las TIC, los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), las imágenes satelitales, los dispositivos aéreos no tripulados (drones), los dispositivos láser (LiDAR), los radares y una lista muy larga de etcéteras están disponible para todos.

Un teléfono celular nos permite conocer en forma inmediata nuestra localización en el mundo; nos podemos conectar y navegar por sitios internacionales de proveedores de datos satelitales para descargar una imagen actualizada de cualquier parte del mundo. La tecnología de realidad virtual nos permite la creación de mundos en los que podemos simular una obra civil y ver su impacto en el medio ambiente; disponemos de la tecnología necesaria para identificar cualquier objeto solamente con un par de lentes y superponer un mundo virtual sobre el espacio que nos rodea; dispositivos aéreos no tripulados nos permiten hacer reconocimientos en cuestión de minutos; los datos se recolectan en campo, se envían a otra parte del mundo y son devueltos para replantear grandes obras, todo a una velocidad de pocos minutos; podemos hacer grandes relevamientos en pocas horas y responder a tragedias naturales antes y mejor. En definitiva, el mundo se nos ha hecho más grande, más preciso y más inmediato.

Han cambiado las condiciones y las necesidades, pero luego de miles de años la humanidad continúa buscando su seguridad y su continuidad; una buena parte de estas inquietudes

se centra en afianzar la relación del hombre con su tiempo y su espacio. La tradición (aquello que viene del pasado) impone a nuestros profesionales la proyección al futuro. La responsabilidad que asumimos en la formación de nuevas generaciones nos compromete en seguir apoyando a la sociedad, aplicando nuestros conocimientos y procurando siempre “dar forma” a un mundo mejor. ■

# Y vos, ¿qué estudias?

*La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la ingeniería la que cambia el mundo.*

Isaac Asimov

EN EL IMAGINARIO colectivo están muy presentes algunas carreras universitarias, pero otras pasan desapercibidas o no son vislumbradas en toda su dimensión por la mayoría de las personas. Es el caso de la ingeniería, una profesión oculta a la vista de todos y de la que, muchas veces, poco se sabe.

Un ingeniero no es un matemático, ni un físico ni un químico; aunque, tal vez, sea un poco de cada uno. Entonces, ¿qué es y qué hace un ingeniero? ¿Cómo se forma? ¿Dónde trabaja? Sin dudas, responder estas preguntas es una tarea un tanto difícil la mayor parte del tiempo. Pero hay tres días al año en los que la labor se hace más sencilla, en los que podemos ver, mostrar y sentir lo que hacen nuestros ingenieros: son los días en que se desarrolla Ingeniería de Muestra.

Ingeniería de Muestra es el evento anual que organiza la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en conjunto con su Fundación Julio Ricaldoni, en el cual se presentan proyectos, investigaciones y emprendimientos con el fin de exhibir las actividades que se realizan en la institución. En 2016 la actividad se realizó los días 13, 14 y 15 de octubre en la propia Facultad y tuvo más de

100 stands para descubrir, aprender y jugar.

## ¿Qué podías encontrar?

Hubo experiencias con computadoras, drones, frutas y arte, así como también exposiciones y visitas. Cada proyecto es presentado por los estudiantes y docentes que trabajaron en él, lo que brinda una posibilidad de interacción única y enriquecedora, que es el diferencial de esta feria.

Un prototipo de sistema de gestión que controla las cargas de un hogar en función del precio de la energía; una planta de producción de queso artesanal a escala real que modifica el proceso actual; un pez robot que esquivo obstáculos; la simulación de un sistema de aislamiento acústico gracias al cual en la zona exterior no se percibía ruido mientras que en el interior se mostró el nivel sonoro con música electrónica; y un programa de inteligencia artificial capaz de jugar de forma competente al Family Game, fueron algunos de los trabajos que se apreciaron.

Además, se podía recorrer parte de las instalaciones con visitas guiadas. El Instituto de Física abrió sus puertas al igual que el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. Los asistentes tuvieron la posibilidad de conocer el laboratorio de óptica, el túnel de viento y el canal de olas, entre otros lugares.

## Un cierre diferente cada día

Cada noche, al finalizar la muestra, se realizó un cierre especial. El jueves la competencia *Mi tesis en 180 segundos* cerró la jornada. Allí, los participantes tenían tres minutos para presentar su tesis de maestría o doctorado recurriendo a cualquier medio audiovisual o modalidad alternativa de presentación ante un público no especializado.

Por otra parte, el viernes el día terminó con el *Concurso de construcción de puentes con materiales no tradicionales*, instancia en la que estudiantes de la Fing armaron puentes a escala que debían soportar el mayor peso posible.

Finalmente, el sábado se realizó la entrega de premios a los participantes y un show de arte digital y música electrónica con los 100 años de la denominación de Facultad de Ingeniería como eje central. Esta actividad estuvo a cargo del Laboratorio de Medios del Instituto de Computación.

Este evento se hace todos los años. Así que podés ir y mostrarles a tus padres, tus amigos, tus hermanos o tu pareja todo lo que un ingeniero puede hacer, o mejor aun, ¡lo que vos podés hacer! Y si sos esa madre, ese hermano, ese amigo o no sabés nada de ingeniería, podés darte una vuelta, conocer y entusiasmarte con todo lo que esta profesión tiene para dar. ■

# La siembra de 1918 continuará dando frutos a la sociedad uruguaya

LA CARRERA DE Ingeniería Química constituyó, en 1967, la inclusión en la Universidad de la República de una nueva rama de la ingeniería. Con ello culminó una evolución iniciada con la Ley 4.274/912, que, en cierto modo acompasó, con una diferencia de años, lo acontecido mundialmente.

La Ley 4.274/912 creó el Instituto de Química Industrial (IQI), al que se le asignaron funciones asesoras pero no docentes, incorporadas por el decreto del 05/01/1915, que establecía la conveniencia de implementar la enseñanza de Química Industrial y, tres años más tarde, la Ley 5.728/918 creaba la profesión de “Química Industrial, para preparar un técnico a un nivel superior”, llenando una necesidad en el medio pues no había una profesión con orientación a las industrias de procesamiento.

Previamente, en 1913, se nombra como director del IQI al doctor Latham Clarke, graduado de la Universidad de Harvard, quien aclimata a nuestro medio los métodos de estudio que en su país natal habían dado buenos resultados.

En 1921 egresan los dos primeros profesionales: los químicos industriales Aurelio Pastori y Félix Aboal Amaro.

En 1929 la Ley 8.394/929 crea la Facultad de Química y Farmacia (FQF) e incorpora a ella la

parte docente del IQI que, parcialmente, continuó dictándose en este hasta que en 1940 se habilitó el edificio de la FQF.

En 1954 culmina la elaboración de un nuevo plan de estudios; paralelamente, con el ingreso al profesorado de químicos industriales destacados se inicia un proceso de capacitación, con los aportes del doctor Werner Kunzel y del magíster ingeniero químico Jorge Molina, que redundó en la mejora de la formación que se imparte basada en los criterios que se estaban aplicando en Europa y en Estados Unidos.

En 1967 se logró el objetivo de inaugurar los cursos de una nueva carrera: Ingeniería Química. Nació como la primera experiencia en la Udelar del concepto de la enseñanza compartida entre dos facultades. El ejercicio de construir el Plan de Estudios de Ingeniería Química fue un valioso ensayo de negociación entre los representantes de los tres órdenes de cogobierno de las facultades de Ingeniería y Química integrando la Comisión Interfacultades (CF).

La iniciativa de esta rama de la Ingeniería surgió de los docentes de la Facultad de Química, gracias a la visión, inteligencia, energía y perseverancia de los profesores químicos industriales Héctor Ibarlucea, Miguel

Zunino, Remigio Gabin y Manuel Canosa, acompañados por los delegados profesionales Hugo Trimble y estudiantiles Eduardo Lanza, Ricardo Tournier, Ruben Ordoqui y Alberto Lorenzi. La contrapartida por la Facultad de Ingeniería fue liderada por el decano ingeniero Oscar Maggiolo y, en toda su extensión, por el profesor ingeniero Andrés Tierno.

Los estudiantes que iniciamos los cursos del novel Plan de Estudios en 1967 encontramos en la Facultad de Química un ambiente en el que profesores y estudiantes se esforzaban por concretar exitosamente esta carrera y, en la Facultad de Ingeniería, donde se observaba con curiosidad la nueva experiencia.

El Plan de Estudios se construyó con un Núcleo Básico y un Núcleo Técnico con el objetivo de formar un ingeniero químico generalista. Incluía algunas materias en las que el estudiante tenía opciones a elección.

En el Núcleo Básico se lograba la formación en química, física y matemáticas mediante cursos con alta carga horaria de trabajo experimental. La bibliografía utilizada era la editada en la década del 60 en Estados Unidos y tuvimos profesores con posgrados que nos estimularon a formular y resolver problemas de dificultad creciente.

El Núcleo Técnico, donde se abordaban los fenómenos de transporte, culminaba con un proyecto de integración de los conocimientos adquiridos con conclusiones sobre la viabilidad técnico económica. Profesionales referentes en la industria consolidaron nuestro perfil ético, técnico y humano al transmitir los conocimientos de cada materia y su experiencia personal.

Se destaca la novedad de la materia optativa Ingeniería Bioquímica, iniciativa liderada por docentes que nos dieron el ejemplo de generar un emprendimiento industrial.

En 1973, con el traslado del Núcleo Técnico, como estaba previsto inicialmente y superando los inconvenientes que planteó la intervención, Ingeniería Química se incorporó a la Facultad de Ingeniería. Teniendo claro que Bioingeniería significaba una línea de acción de alto impacto, Ingeniería Bioquímica se transforma en materia obligatoria.

Luego el Plan de Estudios se estructuró con una duración de cinco años, se incorporó el sistema de créditos y herramientas actuales como las que permiten simulación de procesos. La metodología de acreditación de la carrera ha estimulado revisiones, manteniendo rasgos específicos que son de valor e interés local.

Es de orden destacar la visión de los gobernantes que, a principios del siglo xx, aquilataron el papel del Químico Industrial para el desarrollo del país; también la de los profesores arriba mencionados que impulsaron la transformación de Química Industrial a Ingeniería Química.

### **El siglo xx y después**

A principios del siglo xx los técnicos que dirigían las plantas de las industrias químicas,

llamados químicos industriales, poseían una formación muy descriptiva y carente de generalización que combinaba elementos de química, ingeniería civil y mecánica.

Con la Primera Guerra Mundial, al aumentar el número y complejidad de los problemas, en la industria química se empezó a reconocer gradualmente la necesidad de una rama distinta dentro de la ingeniería, no como mezcla de química con ingeniería mecánica y civil, sino “basada en las operaciones unitarias, las que en su propia secuencia y coordinación constituyen un proceso químico llevado a escala industrial”. Este primer intento reformista lo realiza Arthur Little en 1915 al presentar al MIT un informe que recién se aprueba en 1992.

En años posteriores esta intención se extendió a otra unidad vinculada a la reacción química, el proceso unitario, se aportan otras herramientas (análisis dimensional y escalado, balances de masa y energía, equilibrio y cinética química, etcétera) y se establece que la fenomenología de los procesos está gobernada por los fenómenos de transporte.

Con ello, “ingeniero químico” evolucionó su núcleo curricular y pasó a ser responsable de la confianza con que los ingenieros químicos integran el conocimiento de muchas disciplinas en la solución de problemas.

De lo transmitido por el académico profesor ingeniero químico Miguel Zunino en 1994, y con su beneplácito, transcribimos los siguientes párrafos que permiten entender la evolución en el contexto internacional de nuestra carrera.

“La Ingeniería Química tiene un rico pasado y un brillante futuro. En poco más de un siglo sus practicantes han erigido una gran parte de la infraestructura tecnológica de la sociedad moderna. En los años venideros

evolucionará para afrontar desafíos que abarcan una amplia gama de disciplinas intelectuales y escalas físicas (desde la escala molecular hasta la escala planetaria).

Los desafíos tecnológicos impulsaron e impulsan desafíos para la Ingeniería Química:

- Nuevas necesidades que significan nuevos productos (biotecnología, electrónica, etcétera).

- Creciente competencia internacional que determina calidad y eficiencia crecientes en los procesos, los productos, uso y consumo de energía.

- Responsabilidad para lograr el desarrollo sostenible, la seguridad de procesos y productos, combatir el cambio climático y cuidar el ambiente.

- Participación creciente en grupos multidisciplinarios para lograr soluciones a necesidades diversas, incluyendo, por ejemplo, la salud y el bienestar de una población con expectativa de edad en aumento”.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República tuvo y tiene la suficiente dinámica para actualizar sus planes de estudio de acuerdo a las nuevas necesidades y para incorporar nuevas carreras: Ingeniería Química es un ejemplo. ■

# Tres décadas de investigación en tratamiento de residuos

¿QUÉ PAÍS queremos los uruguayos? ¿Es posible un “Uruguay Natural” sin cuidado ambiental? ¿Es mejor apostar a la producción primaria y de servicios o incluir, además, el desarrollo industrial empleando los productos del agro y agregarles valor?

La Facultad de Ingeniería, en particular su Instituto de Ingeniería Química, está abocado a formar profesionales para el desarrollo de la industria química, la agroindustria y la industria alimentaria en el país. El desarrollo productivo industrial, en particular la implantación de nuevos emprendimientos como una nueva planta de celulosa, son bienvenidos siempre que el esquema productivo no genere en el largo plazo un perjuicio ambiental o una pérdida de recursos naturales que no hayan sido previamente bien evaluados y resulten tolerables, es decir, que sean considerados irrelevantes. Por ello, el Instituto de Ingeniería Química, a partir de la visión de la doctora María Viñas, que en 1985 había retornado del exilio en México, entendió que era imperioso desarrollar conocimiento en el área del tratamiento de efluentes y reducir así los perjuicios ambientales, para habilitar el incremento de producción industrial.

Fue a partir de su impulso que el instituto comenzó sus actividades de investigación

proponiendo y desarrollando soluciones de tratamiento de efluentes industriales. Se generaron luego varios grupos de investigación que profundizaron en este tema y en otros derivados.

## Efluentes industriales y contaminación

Un ejemplo: la industria láctea —uno de nuestros principales rubros de exportación— genera aguas residuales, producto del lavado de las instalaciones industriales, de los tanques de leche, etcétera. Esta agua no contiene mayormente productos químicos, sino que se compone básicamente de leche diluida o alguno de sus componentes. Sin embargo, estos compuestos, aunque inocuos para nosotros, deterioran los cursos de agua debido a que provocan un enorme incremento de microorganismos que se alimentan de los residuos orgánicos y reducen así la concentración de oxígeno en el agua. De este modo, la población de peces y organismos que requieren oxígeno se ve reducida y el equilibrio del curso se rompe. La contribución de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo genera también otros problemas, como el crecimiento explosivo de algas.

Pero, por fortuna, existen y se han desarrollado métodos de tratamiento de estas aguas,

al igual que las aguas residuales generadas por los frigoríficos, lavaderos de lana, curtiembres, etcétera. Desde el instituto hemos trabajado en este sentido y contribuido a diseñar plantas de tratamiento en todos estos rubros. En particular, nos hemos abocado al estudio del tratamiento biológico de efluentes y residuos.

Los tratamientos biológicos emplean microorganismos para reducir la contaminación orgánica, es decir, confinan en uno o varios tanques los microorganismos (que en este contexto llamamos biomasa) que de otra manera crecerían en el curso de agua. El agua depurada es separada de la biomasa antes de su vertido.

El diseño de estos sistemas ha sido objeto de estudio, y el Instituto ha participado en el diseño conceptual de plantas como Conaprole, Lanera Santa María, Coleme y Coca-Cola, entre otras. Además, se han desarrollado dos patentes en relación a estos sistemas, y se han publicado más de 50 artículos científicos. El foco del estudio ha sido puesto en el modelado matemático orientado a la predicción de las eficiencias de remoción y la maximización de la generación de biogás. Por otra parte, el modelado ha permitido mejorar los diseños de los sistemas de reacción biológica, permitiendo

una operación más eficiente y sorteando dificultades operacionales que los hacen más amigables para los operadores.

### **Efluentes industriales vs efluentes en el agro**

La producción agropecuaria, en particular en la medida en que se intensifica, es generadora de contaminación: por caso, en la cría de ganado estabulado se concentran las excretas animales. Estas excretas en sí mismas, y las aguas que escurren de las pilas donde se acumulan, son residuos y efluentes orgánicos, pero si estas aguas o sólidos llegan a un curso de agua generan los mismos problemas que los efluentes industriales. Sin embargo, en este caso las excretas son, además de un problema, una oportunidad: contienen nutrientes y micronutrientes que el suelo requiere para la producción de alimento animal.

Por ello, el abordaje del tratamiento de residuos en el medio agrario es diferente y el desafío consiste en optimizar la distribución de los residuos para su mejor aprovechamiento, sin perjuicio ambiental ni riesgo sanitario y a costos adecuados.

Hemos trabajado intensamente desde 2003, en conjunto con el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y organizaciones de productores de leche, en el diseño de soluciones de tratamiento para tambos.

### **Transformar residuos en recursos**

Los tratamientos biológicos pueden realizarse por procesos aeróbicos o anaeróbicos (en presencia o en ausencia de oxígeno, respectivamente). En particular, el tratamiento anaerobio de efluentes y residuos sólidos es una fuente de biogás, ya que cuando se emplean

microorganismos particulares y se evita el ingreso de oxígeno en los sistemas, se produce por fermentación una mezcla de gases con alto contenido de gas metano combustible. Por esto los residuos se consideran con esa doble condición: es necesario tratarlos para evitar la contaminación de cursos de agua, agua subterránea, etcétera, y pueden ser fuente de recursos valiosos como el biogás. También los barros (la biomasa) que se generan en las plantas de tratamiento son un material con potencial fertilizante. El Instituto de Ingeniería Química ha desarrollado y puesto en operación sistemas anaerobios de tratamiento y cuenta con una unidad piloto de pruebas para tratamiento y generación de biogás.

### **Transformar recursos en productos valiosos**

En nuestra visión, es preciso concebir el futuro productivo efectuando una economía de recursos naturales, que son cada vez más escasos. Los residuos adquieren así otra dimensión: la posibilidad de constituirse en materias primas para la fabricación de productos químicos de alto valor. En este contexto, los residuos y efluentes industriales se conjuntan con los residuos y la producción agrícola. Constituyen la materia prima para concebir procesos que generen productos comercializables. La biorrefinería, es decir, la obtención de productos valiosos a partir de biomasa, es otro de los aspectos que desde hace más de diez años abordamos en el Instituto de Ingeniería Química. Hemos empleado para ello barros provenientes de plantas de tratamiento anaerobio de efluentes, en particular de barros de lavaderos de lana, y contamos con numerosas publicaciones en este sentido, además de una patente de invención. Asimismo, el Instituto trabaja en la valorización de residuos

de la industria de celulosa, como el licor negro. Este efluente, rico en lignina, se quema en las plantas de pulpa para generar energía. La lignina, que representa aproximadamente 30% de la madera, es un polímero abundante que puede ser empleado para sustituir parcialmente la matriz de productos de la industria petroquímica, con las consiguientes ventajas ambientales. Actualmente se investigan aplicaciones alternativas a la combustión, como adhesivos, recubrimientos, precursor de químicos, etcétera. Este es el camino que tenemos por delante. ■

GUTIÉRREZ es profesora agregada en el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) e integra el Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I.

# Academia-empresa: hablar un mismo idioma

LA RELATIVA desconexión entre el conocimiento científico-tecnológico nacional y la matriz productiva del país es un problema ampliamente reconocido en Uruguay. Promover el diálogo entre los productores de conocimiento y las empresas es imprescindible para el desarrollo y la sustentabilidad de los sistemas productivos.

¿Cómo hacer para fomentar el uso y la apropiación del conocimiento por parte del sector productivo? ¿Cómo vincular la oferta de conocimiento disponible con una demanda tecnológica concreta de una empresa?

La experiencia de trabajo conjunto entre la propuesta de extensión del Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial (IIMPI) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República y el Centro de Extensionismo Industrial (CEI) es un ejemplo exitoso de la articulación entre estas dos poblaciones.

Mediante el espacio de formación integral, el IIMPI, sus docentes y alumnos trabajan con pequeñas y medianas empresas para ayudarlas a resolver problemas de índole productivo: diagnósticos primarios de eficiencia energética, evaluación de diseños y buen funcionamiento de las máquinas e instalaciones industriales, recomendaciones sobre mejoras del *layout* de la

planta, estudios de viabilidad técnico-económicos para la inversión en equipos y maquinaria.

El CEI, una iniciativa conjunta del gobierno (Ministerio de Industria, Energía y Minería), la industria (Cámara de Industrias del Uruguay) y la academia (Udelar), con posterior apoyo de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación, articula, por su parte, las necesidades tecnológicas y competitivas de las pymes industriales con la estructura de conocimientos, apoyos y servicios de aplicación industrial.

Para ello, ofrece diagnósticos gratuitos adaptados a la situación de cada pyme, que son acompañados de un plan de acción en el que se indican también los instrumentos de apoyo a la innovación y la competitividad que reducen el costo de la ejecución de las acciones recomendadas por el centro.

Gracias a la articulación acordada, el CEI deriva al IIMPI aquellas empresas que necesitan resolver un problema concreto y ya identificado en su diseño de producción.

## Dos casos

El horno de una empresa productora de alimentos para celíacos no cocina de forma pareja debido a que está mal regulado. El empresario arrastra desde hace mucho tiempo este

problema que hace que su proceso productivo sea ineficiente. Se utilizan únicamente los sectores del horno que cocinan bien y se desaprovecha su capacidad. Hay un problema concreto: resolver por qué el horno no está cocinando de forma pareja. El IIMPI y sus estudiantes visitan en repetidas ocasiones la empresa, proponen soluciones, investigan, se interiorizan sobre el uso de ese tipo de hornos en otras empresas en donde funcionan de manera eficiente, y logran hacer una propuesta de solución al problema, que la empresa implementa exitosamente.

Optimizar los tiempos de producción en línea y los recursos necesarios de producción, de manera de minimizar costos, fue otra de las tareas de los estudiantes de ingeniería mecánica y de ingeniería en producción con una empresa que construye casas prefabricadas. El contacto con los empresarios, las entrevistas al personal de planta, los relevamientos de los equipos disponibles y del *layout*, son todas actividades que acercan a los estudiantes al mundo laboral y a la realidad de las pymes uruguayas.

Los trabajos realizados por el grupo de estudiantes y sus docentes han sido varios y han versado sobre distintos temas que ven de manera teórica en los cursos. El trabajo del CEI seguirá siendo detectar necesidades, transformarlas

en demandas y vincularlas con la oferta de instrumentos de apoyo a la competitividad, servicios o el conocimiento.

El extensionismo implica salir a buscar a las empresas, revertir la tendencia estructural al aislamiento por parte de las pymes, que impide la generación y aplicación de los conocimientos necesarios para incrementar su productividad y competitividad. El extensionismo es desarrollar vínculos con otras redes de servicios, finanzas, clientes, o en este caso la academia, como actor clave de la producción de conocimiento científico-tecnológico.

Este trabajo de cooperación será complementado con el lanzamiento de una plataforma web con una interfaz atractiva y de fácil uso que contendrá la oferta nacional de conocimiento de aplicación industrial. El CEI espera lanzar ese producto clave este año.

Exponer de forma accesible al sector productivo nacional las capacidades de la academia para la resolución de problemas actuales o potenciales de las empresas es un camino que hay que recorrer y que pretendemos que oficie de disparador de redes y relaciones entre sus usuarios, y que fomente la generación de proyectos conjuntos y la transferencia tecnológica.

Es imprescindible buscar caminos de intercambio para construir conocimiento y aplicarlo en la sustentabilidad de los sistemas productivos. Que las universidades formen a profesionales en la escucha de las necesidades del sector productivo, con capacidad para asumir sus problemas y desafíos, es una aspiración y tarea que desde el CEI se busca promover y facilitar con experiencias como esta. Que la academia y las empresas hablen un mismo idioma es una aspiración que deberíamos compartir todos. ■

HERNÁNDEZ es ingeniero mecánico especializado en energía. Docente del IIMPI, coordina el espacio de formación integral que desarrolla las propuestas de extensionismo industrial Dalavuelta y Krona, desde su implementación en 2013.

LIBISCH es licenciada en Comunicación Social y tiene una maestría en Medios y Desarrollo Internacional de la Universidad de East Anglia en Norwich, Inglaterra. Es responsable de comunicación en el Centro de Extensionismo Industrial.

# El mundo cambia, la Facultad también

EN UN URUGUAY que comenzaba a transitar el abandono del militarismo para llegar al civilismo, surgía la prestigiosa Facultad de Matemáticas y Ramas Anexas. Fue en 1888, luego de la entrada en vigencia de la Ley Orgánica confeccionada en 1881, cuando se empezaron a dictar los primeros cursos de Ingeniería de Puentes, Caminos y Calzadas, de Arquitectura, de Ingeniería Geográfica y de Agrimensura.

El entonces rector de la Universidad de la República, Alfredo Vásquez Acevedo, junto a un destacado consejo, fueron los responsables del plan de organización general de la Facultad. Vásquez Acevedo sostenía en ese momento que aquellas primeras carreras “satisfacían los deseos de la juventud estudiantil y las necesidades más urgentes del país”<sup>1</sup>.

Si bien pasaron muchos años desde ese primer paso —incluso, desde la adquisición de la denominación de Facultad de Ingeniería, en 1915—, uno de los propósitos de la institución continúa vigente: formar profesionales capacitados para insertarse en un mundo en constante cambio, capaces de afrontar las necesidades y demandas del sector productivo, así como de contribuir al desarrollo de la sociedad.

## **Nuevos títulos y nuevos horizontes**

Hoy existen más de una veintena de carreras de grado en la Fing. Todas ellas —ingenierías, licenciaturas y tecnicaturas— surgen como respuesta al proceso de transformación que vive nuestra sociedad. Ejemplo de esto son el desarrollo productivo, la investigación y profundización en áreas del conocimiento y los nuevos desarrollos científicos.

Considerando estos cambios, la Fing ha impulsado y llevado adelante la presencia de carreras —total o parcialmente— en el interior del país: la Licenciatura en Ciencias Hídricas Aplicadas (Salto), la Licenciatura en Ingeniería Biológica (Paysandú), la Tecnicatura en Telecomunicaciones (Rocha) e Ingeniería Forestal (Tacuarembó), entre otros.

Estos títulos, además, se crean en lugares estratégicos de nuestro territorio, lo que permite a los estudiantes estar en contacto con los recursos y el medio profesional desde el inicio de la carrera. Es de suma importancia mantener el vínculo entre las propuestas académicas y la situación real de cada región donde los centros universitarios se encuentran instalados.

## **Desarrollo productivo**

Ingeniería Forestal e Ingeniería de Producción son carreras que se corresponden con el

desarrollo productivo. En los últimos años, estos sectores lograron alcanzar un incremento preponderante y, a su vez, vienen transitando un camino de consolidación ágil e intensa.

Hoy día, la exportación de productos forestales es uno de los elementos con mayor empuje en la balanza comercial uruguaya. Por ese motivo, es esencial la intervención de un profesional con un sólido dominio de las ciencias básicas y básicas-aplicadas, así como la capacidad para intervenir tecnológicamente en la resolución de problemas.

Asimismo, en un contexto global en el que los estados aumentaron la eficacia y eficiencia de los procesos de producción de bienes y servicios, resulta necesaria la incorporación de un experto en el manejo de sistemas integrados de materiales, información, equipos y recursos humanos. Es aquí donde el ingeniero de Producción Industrial aparece y desempeña el rol de “articulador”. Para ello, es fundamental el aprendizaje de conocimientos de ciencia, tecnología, economía y administración.

## **Investigación y profundización**

Algunas carreras que se encuentran vinculadas a la investigación y el desarrollo de nuevas especialidades son la Licenciatura en Ciencias de la

Atmósfera, la Licenciatura en Ciencias Hídricas Aplicadas y la Licenciatura en Computación.

La observación, comprensión y predicción del tiempo y el clima tienen implicancias decisivas en innumerables actividades y procesos de interés para la sociedad. Por esa razón, es vital la contribución de un profesional dedicado al planteo y la atención de problemas, desde el cambio climático global hasta aspectos micrometeorológicos.

Con énfasis, sobre todo, en la región sureste de América del Sur, el licenciado en Ciencias de la Atmósfera es quien logra hacer viable un mejor tratamiento y abordaje científico a los problemas relacionados con la temática. Esta carrera es dictada en conjunto con la Facultad de Ciencias.

Siendo Uruguay históricamente reconocido por su producción agrícola-ganadera, resulta ineludible administrar con responsabilidad los recursos necesarios para este tipo de prácticas; uno de estos recursos fundamentales es el agua. El licenciado en Ciencias Hídricas Aplicadas es un especialista que posee la habilidad —ayudado por instrumentos y herramientas informáticas— para resolver situaciones y desarrollos que la producción agrícola, ganadera, agroindustrial y los entes administradores del recurso hídrico requieran.

### **Nuevos desarrollos científicos**

Por último, una de las titulaciones que en esencia es interdisciplinaria es la Licenciatura en Ingeniería Biológica. Es una de las más recientes y, utilizando métodos de la ciencia, la tecnología y la ingeniería, introduce a los estudiantes en el uso de los nuevos equipamientos y técnicas en el sector de la salud, veterinario y de la biología. Incluye, además, el desarrollo de productos y servicios médicos.

Es necesario responder a la demanda existente en esta área, que es cada vez más amplia. Eso genera que las metas académicas deban adaptarse no solo a las tecnologías evolutivas, sino también a los cambios culturales inherentes a la naturaleza social de algunas de sus aplicaciones.

### **A la vanguardia**

Más de 130 años transcurrieron desde el inicio de los primeros cursos dedicados a la ingeniería nacional. La firme convicción con la que se llevó adelante este propósito dejó de lado todo tipo de descreimiento en la formación nacional y apostó a la calidad y el profesionalismo de los egresados.

Los ingenieros son unos de los tantos actores que se preparan para resolver problemas

constructivos y científicos, así como sociales y económicos. La Fing evolucionó conjuntamente con el mundo y lo seguirá haciendo porque estar a la vanguardia y enriquecerse de los cambios es una de sus metas.

El ex rector de la Universidad Rafael Guarga citaba a José Pedro Varela en su columna “El futuro empieza hoy”: “Las generaciones que ahora se eduquen, si no quieren quedar rezagadas, ser instrumentos inútiles en la economía nacional, necesitan prepararse para hacer frente a las exigencias, no de la época actual, sino de la época futura”. ■

1 Tomado del libro *75 primeros años en la formación de los ingenieros nacionales*, de María Laura Martínez.

# ¿Qué es la Ingeniería Biomédica?

ALEJANDRO VOLTA inició el estudio de la fisiología con métodos de la ingeniería al confirmar en 1792 las observaciones de Luis Galvani sobre la interacción entre corrientes iónica y eléctrica en las patas de las ranas. Desde entonces la vida humana ya no pudo concebirse sin el aporte de instrumentos de diagnóstico, tratamiento o sustitución de funciones, resultados de la Ingeniería Biomédica (IB). En forma creciente, la IB pone a disposición del médico la evidencia funcional que guía su conducta o los instrumentos que corrigen y hasta reemplazan órganos, como un marcapasos o una cabeza de fémur de repuesto.

La fisiología del parto fue descrita por primera vez en el mundo por un equipo interdisciplinario uruguayo que encabezaba el doctor Roberto Caldeyro Barcia. Ocurrió en la segunda mitad del siglo xx y desde entonces la investigación biomédica ha tenido en el país episodios de innovación tecnológica asociados a logros científicos, en plena interacción entre fisiología e instrumentación biomédica.

Cuando finalizó la intervención dictatorial de la Universidad de la República, en 1985, las facultades de Medicina y de Ingeniería unieron esfuerzos para apoyar la docencia en IB: crearon el Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB),

con sede en el Hospital de Clínicas. Allí se plantean los problemas asistenciales a ser estudiados por la ingeniería. Recurriendo al trabajo interdisciplinario de profesionales y docentes de diferentes formaciones —todos dirigidos por la motivación biomédica—, el NIB ha desarrollado prototipos en respuesta a planteos clínicos. Esta experiencia interdisciplinaria fue tomada por la Udelar, que la potenció en su Espacio Interdisciplinario, donde estudia el efecto benéfico del trabajo transversal entre disciplinas, para resolver problemas cada vez más complejos.

## **Diagnóstico no invasivo: Impetom**

En el 2000, la medicina intensiva percibió que sería importante disponer de un instrumento de seguimiento de la ocupación del espacio pulmonar por líquido sin recurrir a placas, con la consiguiente irradiación ionizante (rX). Al comprobar que ninguna oferta de mercado colmaba las aspiraciones, estudiantes y docentes del NIB aceptaron el desafío de desarrollar un equipo basado en corrientes inocuas que permitan distinguir el agua del aire por su impedancia eléctrica. Además, proyectaron la obtención de una imagen tomográfica en la que representaron en colores diferentes

el aire y el agua que contiene el tórax de un paciente en terapia intensiva. Las tareas abarcaron el proyecto y la realización de circuitos electrónicos para inyectar corrientes conocidas en electrodos cutáneos, con frecuencias y amplitudes imperceptibles. También fue necesario realizar circuitos de medida de las tensiones resultantes en los demás electrodos. Finalmente, se recurrió a la matemática de la reconstrucción tomográfica para representar lo que hasta ese momento solamente los rayos X podían revelar: el interior del tórax y su composición (aire y líquido).

Tema de cuatro proyectos de grado, una tesis de maestría, varias publicaciones y de un Congreso Latinoamericano sobre Bioimpedancia realizado en Montevideo en 2015, la línea de investigación Impetom (tomografía por impedancia eléctrica) se consolida. El ritmo de desarrollo es lento, sin embargo, y desde 2013 se ha detectado en el mercado mundial un sistema similar al Impetom de uso clínico. A pesar de ser un equipo barato de seguimiento inocuo del edema pulmonar, sin competencia internacional, Impetom no logra instalarse en el mercado debido a nuestras debilidades para la transferencia tecnológica de prototipos prometedores hacia la industria.

### **Luz fría para los recién nacidos: BiliLED**

El tratamiento de la hiperbilirrubinemia del recién nacido incluía lámparas con luz monocromática que ayuda a degradar moléculas en sangre, pero con una elevada emisión de calor. En 2006, junto a la aparición en el mercado de led de diversas longitudes de onda, el Instituto de Física de la Fing desarrolló la idea del BiliLED, luego retomada en sucesivos prototipos por el NIB. La obtención de un instrumento liviano, frío y de larga vida fue rápidamente reconocida y adoptada por todos los centros de medicina intensiva neonatal. Al año siguiente, la Universidad transfirió la patente a una empresa de plaza, creando empleo y actividad económica. El impacto en la asistencia fue notorio y Uruguay fue el primer país en tener una elevada proporción de tratamientos realizados con luz fría y de campo uniforme. Limitaciones nacionales impidieron que el producto fuera ofrecido en el mercado internacional, luego de haber saturado la plaza. Sin embargo, en la feria de equipos biomédicos Hospitalar 2016, realizada en San Pablo, Brasil, resultó grato ver que todos los fabricantes de incubadoras ofrecen hoy lámparas azules con led, similares al BiliLED, desarrollado una década antes.

### **Trabajo interdisciplinario: Abdopre**

El médico intensivista se enfrenta a la posible instalación de hipertensión en el abdomen del paciente, un cuadro clínico grave y de elevada mortalidad. Esta situación se trata con descompresión quirúrgica. Planteado el problema al NIB, se desarrolló un dispositivo que incluye una campana en la que se hace el vacío parcial, hasta reducir la presión intraabdominal y permitir las funciones vitales durante el tratamiento de las causas, sin cirugía. La solución fue propuesta y convalidada a lo largo de sesiones de trabajo interdisciplinario, durante las cuales cada integrante (médico, ingeniero, diseñador industrial) hizo el esfuerzo de entender el punto de vista del otro, con el objetivo de mejorar el entendimiento y encontrar soluciones mixtas (entendiendo por “mixta” la inclusión de motivaciones y caminos de todas las formaciones participantes). El prototipo, ya conocido como Abdopre, está siendo objeto de evaluación por socios industriales extranjeros. Se sabe que la capacidad de difusión industrial de esta riqueza es limitada en un país que sabe promocionar productos tradicionales, pero quizá no tanto este tipo de investigaciones.

El desarrollo de aplicaciones en IB tiene antecedentes válidos que le permiten aspirar a abrir espacios en la vida productiva del país, con nuevos y mejores equipos y sistemas biomédicos. La IB es parte activa en el concierto mundial de la transformación de nuestra especie de “humana” en “humano-mecánica” o “humano-electrónica”, al darnos una vida más larga, más hábil y más disfrutable. ■

SIMINI es profesor de Ingeniería Biomédica en la Universidad de la República.

# Vientos de cambio

EN MENOS de una década, Uruguay pasó de no tener energía eólica en su sistema eléctrico a estar en el podio mundial por la participación de la generación a partir del viento en su matriz energética. La apuesta por este recurso autóctono, no contaminante y renovable, es parte de un programa nacional de desarrollo de energías renovables no convencionales, que también incluye la energía solar y la biomasa.

En la actualidad, 26% de la energía eléctrica que consume Uruguay es de origen eólico, habiéndose registrado momentos puntuales en los que más de 80% de su potencia demandada fue generada a partir del viento. Uruguay cuenta con 940 MW de potencia eólica instalada, y UTE llegará, para fines de 2017, a tener más de 1.400 MW. Cabe destacar que hace menos de diez años toda la capacidad de generación en la red eléctrica de Uruguay (térmica e hidráulica) no llegaba a 3.000 MW.

La apuesta por introducir las energías renovables autóctonas no tradicionales (biomasa, solar y, en particular, el viento) en la matriz energética nacional constituyó un paso fundamental hacia la independencia energética del país. Además de reducir la dependencia del petróleo, se reduce la vulnerabilidad

al cambio climático y a las sequías que afectan la generación hidroeléctrica, al tiempo que se apuesta por un recurso no contaminante. Pero sobre todo corresponde destacar que, después de la hidráulica —ya explotada al máximo—, la energía eléctrica obtenida a partir del viento es la más conveniente económicamente, aun con precios de petróleo tan bajos como los de la actualidad.

## La revolución de los molinos

La revolución eólica en Uruguay fue posible por la confluencia de diversos factores. Por un lado, el país cuenta con un nivel de viento abundante, con una amplia red eléctrica instalada y conectada a los países vecinos, lo que nos coloca en una posición adecuada para gestionar este recurso. Además, la generación eléctrica en Uruguay tiene un fuerte componente hidráulico que permite compensar las naturales variaciones del viento, inherentemente intermitente.

Asimismo, el desarrollo eólico se ha basado en el conocimiento generado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República a lo largo de décadas de investigación sobre las características del viento, la tecnología necesaria para explotarlo, las

regiones más adecuadas, los problemas de interconexión con la red eléctrica y la interacción con el sistema energético. También en esta institución se formaron los técnicos que lideraron la incorporación de la energía eólica a la matriz energética del país.

Las primeras evaluaciones sobre el recurso fueron realizadas en la década de 1950 por el ingeniero Emanuele Cambilargiu, quien fue capaz de caracterizar el viento en el territorio de Uruguay. En el mismo período, Oscar Maggiolo y Agustín Cisa lideraron estudios sobre el desarrollo de tecnología apropiada para la explotación del viento como fuente de energía.

En 1988, un acuerdo firmado entre UTE y la Udelar permitió que técnicos del Instituto de Ingeniería Eléctrica y del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental realizaran una evaluación del potencial eólico para su aprovechamiento integrado a la red eléctrica. Se identificaron sitios potenciales de explotación, se efectuaron mediciones que permitieron diseñar y elaborar el primer mapa eólico del país y se estudió la operación de los aerogeneradores y su interacción con el sistema eléctrico nacional. Convenios

subsiguientes posibilitaron estudiar la integración en gran escala, la factibilidad de sistemas autónomos y la interacción entre generadores de distintas fuentes con la demanda.

De estos trabajos surgió un aporte particularmente importante de la Fing: el desarrollo de herramientas informáticas de simulación de sistemas de energía eléctrica con la inclusión de energías renovables, herramientas cuyos resultados incidieron decisivamente en el dimensionado de la incorporación en curso y la planificación futura. Cabe destacar también los estudios sobre el funcionamiento de una red en la que gran parte de la energía proviene de fuentes dispersas en el territorio.

La primera experiencia en el país con la tecnología la llevó a cabo la Facultad en el 2000 con la instalación del primer aerogenerador de porte en la Sierra de los Caracoles. Este también fue el lugar elegido por UTE para albergar a su primer parque eólico, que se inauguró en 2009 con una potencia total de 10 mw y una integración de cinco aerogeneradores. Los resultados obtenidos fueron tan alentadores que el Programa de Energía Eólica del Ministerio de Industria, Energía y Minería se

propuso llegar a la incorporación de 300 mw de energía eólica para 2015, cifra que fue revisada hasta alcanzar el actual objetivo de instalar 1.400 mw para fines de 2017.

Para terminar de poner en marcha la incorporación de la energía eólica a la matriz energética, el país utilizó múltiples mecanismos: oferta de compra de energía a empresas que se instalaran en el país, instalación de parques eólicos propios de UTE, promoción y gestión de parques mediante captación de ahorro y capital nacionales, y sociedades con otros países.

#### **Vientos de futuro**

Las proyecciones actuales muestran al viento como el gran protagonista de la generación eléctrica de Uruguay para los próximos 30 años. El rol desempeñado por la Fing en esta revolución eólica continuará siendo clave, formando técnicos especializados y desarrollando programas de investigación y desarrollo que apuntan a lograr un mejor aprovechamiento del recurso, como el que actualmente se lleva adelante para el Despacho Nacional de Cargas, denominado “Pronóstico Operativo”, que consiste en un conjunto de estudios capaces de predecir el comportamiento del viento

con la mayor precisión posible, aspecto fundamental para lograr un abastecimiento de la red eléctrica seguro y rentable.

La Universidad transfiere sus conocimientos mediante la formación de personas. En ese sentido, la Facultad ha integrado estos temas en varias de sus carreras de grado y posgrado, en una propuesta específica de maestría y doctorado en Ingeniería de la Energía. ■

# Un puente entre la academia y la sociedad

DESDE 2011, la ciudad de Durazno cuenta con un Sistema de Alerta Temprana (SAT) que permite “ganarle la carrera al río” en épocas de lluvia y evacuar antes de que se produzcan inundaciones. “En abril de 2016 casi 6.000 personas tuvieron que abandonar sus casas. Pese a eso, tuvimos una evacuación ordenada, con mucha tranquilidad y en seco, es decir, antes de que el agua llegara a las viviendas”, dijo Jesús María Rodríguez, director del Centro Coordinador de Emergencias Departamentales (Cecoed).

El sistema fue desarrollado por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Fing, en el marco de un convenio entre su Fundación Julio Ricaldoni (FJR) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Nutriéndose de diversas informaciones, el SAT es capaz de predecir la evolución del nivel del río, el nivel máximo que alcanzará frente a la costa y la fecha en que ocurrirá, con un margen de error de un día.

“Antes había caos. Ahora podemos planificar y realizar la evacuación con tiempo, durante el día y con mayores condiciones de seguridad. Todo esto ha devenido en una mayor confianza de la población en el Comité

de Emergencias, porque saben que contamos con información exacta para actuar a tiempo. No es lo mismo juntar las cosas teniendo el agua en la puerta que hacerlo uno o dos días antes”, concluyó Rodríguez.

Pese a que el sistema no es la solución definitiva para el problema, ha permitido mejorar sustancialmente la situación de los pobladores de Durazno. La experiencia ha sido tan positiva que desde 2014, gracias a un convenio firmado entre la Agencia Nacional de Innovación e Investigación y la FJR, el IMFIA trabaja en la ampliación del SAT para la cuenca del Río Cuareim y del Río Olimar, lo que beneficiará a los pobladores de Artigas y Treinta y Tres que viven situaciones similares.

## Al servicio de la sociedad

El rol clave cumplido por la FJR en el desarrollo y la implementación del SAT es un ejemplo cabal de su misión institucional. Desde 2003, constituye el instrumento de vinculación tecnológica de la Facultad de Ingeniería, lo que en los hechos significa que es la responsable de articular los conocimientos y las capacidades de la Facultad con los desafíos productivos del país.

“Los grupos de investigación de la Fing trabajan para resolver problemas que afectan

a las personas. El rol de la Fundación consiste en facilitar la transferencia de estos conocimientos que se generan en la academia a toda la sociedad. Por eso, para definir nuestra misión, habitualmente usamos conceptos como vincular o articular”, señaló Julieta López, directora ejecutiva de la FJR.

La puesta en funcionamiento del SAT implicó la vinculación y el trabajo en conjunto de distintas instituciones, lo que redundó en un beneficio concreto para los duraznenses. Además de la Fing, la FJR y la OMM, también intervinieron el Sistema Nacional de Emergencias, la Dirección Nacional de Aguas, el Instituto Uruguayo de Meteorología, UTE, la Intendencia de Durazno, la Facultad de Arquitectura, y el Centro Coordinador de Emergencias Departamentales de Durazno.

## Un puente de alto impacto

Vincular, articular y tender puentes son conceptos frecuentemente utilizados para definir la misión de esta Fundación creada en 2003. Así es como, a lo largo de sus 13 años de vida, ha trabajado con más de un centenar de organizaciones (públicas y privadas, nacionales y extranjeras), gestionando proyectos que han supuesto desarrollos tecnológicos

innovadores y mejoras en la calidad de vida de los uruguayos.

Proyectos vinculados a la historia clínica electrónica, las energías renovables, la gestión de cuencas, el software público, las ciudades inteligentes y el tratamiento de efluentes, entre otros, son algunos de los más de 70 convenios que actualmente tiene en ejecución la FJR.

“En los próximos años la Fundación debe profundizar su rol de puente a distintos niveles, potenciando el trabajo de los grupos de investigación de la Facultad. Además tiene el desafío de internacionalizar algunas de sus acciones”, señaló María Simon, decana de la Facultad de Ingeniería y presidente de la FJR, a propósito del rol que deberá cumplir esta institución a futuro.

### **Inspirar vocaciones**

En Uruguay hay un ingeniero por cada seis médicos y tres abogados, según datos del Panorama de la Educación 2014, el anuario del Ministerio de Educación y Cultura. “Si el país quiere industrializarse, debe cambiar esta realidad”, ha dicho en reiteradas oportunidades el rector Roberto Markarian.

Además de su misión articuladora, la FJR cumple con dos roles estratégicos que apuntan

a contribuir a este cometido: promueve el acceso de los jóvenes a las carreras de ingeniería y fomenta la generación de nuevos emprendimientos de base tecnológica. La organización de la feria Ingeniería de Muestra, la gestión de la beca Martha Elena Peluffo Etchebarne de Jauge, el apoyo a iniciativas que fomentan la cultura científica en jóvenes, y su Programa de Apoyo al Emprendedurismo van en línea con estos postulados.

“El país necesita más ingenieros, por lo que no debemos desperdiciar vocaciones. Desde la FJR buscamos acercar esta profesión a la ciudadanía y fomentar que más niños y adolescentes se interesen por las carreras científicas. En este sentido, también trabajamos para inspirar vocaciones, talentos y sueños que contribuyan al desarrollo del país”, concluyó López. ■

# El primer satélite

LA EXPLORACIÓN del espacio comenzó en 1957 con la puesta en órbita del primer satélite artificial, el Sputnik 1, por parte de la Unión Soviética. Fue seguido, a los pocos meses, por el lanzamiento desde Estados Unidos del Explorer I. En ese comienzo de la denominada carrera espacial ya participaban las universidades. La tecnología espacial requiere conocimientos científicos avanzados, y realizar ciencia en el espacio requiere tecnología avanzada. Es justamente en las universidades donde se produce un círculo virtuoso por el cual ciencia y tecnología se sirven mutuamente para avanzar.

La exploración espacial tuvo un desarrollo vertiginoso. En pocos años se enviaron personas al espacio y se pusieron en órbita satélites científicos, comerciales y militares. Se llevaron instrumentos a la Luna, y luego gente. Sondas y robots han explorado la totalidad del Sistema Solar, y estaciones espaciales habitadas orbitan nuestro planeta. Y tal vez sepamos relativamente más de Marte que del fondo de nuestros océanos.

## **Aprendizaje en proyectos**

A finales de 2006, un grupo de allegados al Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad

de Ingeniería de la Universidad de la República trajo la idea de hacer un satélite acá. Hubo discusiones y tormentas de ideas. ¿Por qué no? Hubo muchos por qué no: parecía algo costoso y trabajoso, en una institución con recursos escasos, con una agenda de investigación establecida y muchos estudiantes de los que ocuparse. Pero también quedó claro desde el principio que este sería un proyecto completamente dedicado a la formación de capacidades en el país.

Tener un satélite en órbita no es lo mismo que aprender a hacer un satélite. Esto último era lo que nos interesaba: aprender todo lo necesario para construir un satélite funcional, aunque nunca llegásemos a financiar el lanzamiento. Involucrar a muchos estudiantes de grado, aprender cosas nuevas, fomentar nuevas líneas de investigación, establecer contacto con otras universidades, colaborar con empresas e instituciones del medio y, en especial, motivar a niños y jóvenes en ciencia y tecnología. Estas ideas fueron los cimientos del proyecto.

A principios de 2007 comenzamos investigando el estado del arte en satélites pequeños, y cómo muchas otras universidades estaban en el mismo camino. A mitad de año ya había

seis estudiantes que comenzaban a desarrollar los primeros prototipos de satélite.

Estos prototipos de bajo costo, que llamamos GloboSat, eran dispositivos con varios sensores y otros experimentos, que transmitían información constantemente por un sistema de radio. Cada GloboSat era transportado por un globo sonda, que es un globo que se infla con helio, mide unos dos metros de diámetro en el momento del lanzamiento y sube hasta más de 30 kilómetros de altitud. A esas alturas, por la baja presión atmosférica, el globo mide cerca de diez metros de diámetro y explota. Un paracaídas se encarga de que el GloboSat descienda de forma controlada en alguna parte del país.

Entre 2008 y 2010, cuatro versiones de GloboSat fueron liberadas, operadas y recuperadas exitosamente. Se aprendió mucho de electrónica, energía, bajo consumo, funcionamiento en condiciones extremas, software, telecomunicaciones. Y muy especialmente se aprendió a elaborar sistemas robustos, que debían funcionar por su cuenta sin alguien cerca que pudiera reiniciarlo o restablecerlo en caso de fallo.

A esa altura, ya había estudiantes haciendo prototipos de partes de lo que sería un

pequeño satélite. Aun sin presupuesto, existía la fuerte convicción de que el aprendizaje mediante proyectos desafiantes era un camino acertado. La forma tradicional de impartir conocimientos en las universidades es por medio de clases expositivas: un docente frente al pizarrón cuenta lo que sabe de un tema, y decenas de estudiantes toman apuntes, con la esperanza de que algún día esas notas de clase adquieran sentido y los ayuden a salvar el examen. Pero el verdadero aprendizaje se produce cuando uno se tiene que remangar e intentar resolver un problema concreto o desarrollar un proyecto de la vida real. Por eso, en la enseñanza de la ingeniería son tan importantes los trabajos de laboratorio y los proyectos realizados durante la carrera.

En el mundo hay universidades pioneras en el llamado aprendizaje basado en proyectos, en el que aprender haciendo es la norma.

La Fing organiza anualmente Ingeniería de Muestra, una exposición gigante de proyectos y trabajos de investigación. Allí estábamos en 2010, mostrando los avances hacia la construcción de un satélite, cuando captamos la atención de las autoridades de Antel, la empresa estatal de telecomunicaciones. La empresa se sintió identificada con los

propósitos del proyecto: generación de conocimientos locales en varias áreas de la ingeniería, consolidación de capacidades existentes, y difusión de ciencia y tecnología hacia niños y jóvenes de todo el país. Así, en agosto de 2011 la Udelar y Antel firmaron un convenio para la construcción conjunta de un nanosatélite.

Habitualmente los convenios con la Universidad son unidireccionales: esta realiza un desarrollo o estudio para una empresa o institución que lo requiere. Lo novedoso del trabajo en el satélite era que ambas instituciones realizarían el desarrollo en forma conjunta. Un equipo en la Fing se encargaría de una parte llamada aviónica, mientras que un equipo en Antel desarrollaría la carga científica.

La aviónica comprende la energía, el telemando, el control y la telemetría del satélite. La carga científica consiste en captores de imagen, su procesamiento y transmisión.

En una carrera tan agotadora como enriquecedora, el nanosatélite, cuyas dimensiones son: 10 centímetros por 10 centímetros por 20 centímetros, completamente diseñado y construido en el país, superó las pruebas de calificación para vuelo en febrero de 2014, y el 19 de junio de ese año fue puesto en órbita por un

cohetes ruso. Fue el primer objeto espacial de bandera uruguaya y fue operado desde nuestras estaciones terrenas por casi un año, superando todas nuestras previsiones. ■

PECHIAR es ingeniero y docente del Instituto de Ingeniería Eléctrica (Fing, Udelar) desde 1993. Fue coordinador del proyecto AntelSat.

# ¿Eso también es matemática?

EN LOS ÚLTIMOS años hemos presenciado un crecimiento abrumador en materia de tecnología: autos que se manejan solos, algoritmos capaces de entender el contenido de una imagen, o grandes avances en procedimientos y equipos médicos, por nombrar algunos de los ejemplos que hasta hace unos años eran propios de la ciencia ficción.

La aplicación de las ciencias básicas a problemas cotidianos ha existido siempre, y si bien esto se vio potenciado enormemente en el siglo pasado, fundamentalmente con la creación de la computación, el boom de la última década impresiona particularmente. Sin embargo, la velocidad con la que se van acumulando estos sucesos no nos permite detenernos a comprender en profundidad la naturaleza de todos esos logros científicos.

Los anuncios de nuevos teléfonos con funcionalidades increíbles, las noticias sobre algoritmos de reconocimiento de rostros o sobre vehículos autónomos se centran (muy razonablemente) en los problemas que el nuevo producto soluciona, o en cómo a partir de ahora determinada tarea será mucho más fácil. En general se esconde que lo que está atrás de todo esto es la matemática, y muchas veces esta matemática es nueva, desarrollada en los últimos años.

Para que sea posible realizar estos aportes de calidad, con el nivel de creación e innovación que se requiere en estos ámbitos, es necesario conjugar una sólida base matemática con una motivación natural y capacidad para trabajar con aplicaciones.

La Facultad de Ingeniería y, en particular, su Maestría en Ingeniería Matemática no son ajenas a este fenómeno.

## Aplicaciones locales

En términos generales, la Maestría en Ingeniería Matemática está orientada a egresados de carreras de ingeniería que desean profundizar en los fundamentos teóricos, así como a egresados de la Licenciatura en Matemática con un fuerte interés en las aplicaciones. Los institutos de Física y Matemática de la Facultad de Ingeniería (así como sus pares en la Facultad de Ciencias) son reconocidos por su gran nivel, lo que permite que esta combinación de teoría y motivación práctica en los estudiantes resulte en trabajos con una fuerte componente de ambos mundos.

Entre los trabajos de tesis que realizaron estudiantes de esta maestría podemos encontrar el diseño óptimo de redes de telecomunicaciones, con aplicación a la red de Antel, la

predicción de caudales de aporte a nuestras represas hidroeléctricas, un sistema no invasivo de detección de pólipos en el colon a partir de imágenes de tomografía computada, y estimaciones del precio del petróleo y acciones para toma de decisiones financieras, por citar unos pocos ejemplos. Las aplicaciones son muy importantes, los resultados son prometedores, y la matemática que hay atrás es linda, como toda la matemática.

## Poder integrador

Los problemas a resolver por los científicos son cada vez más multidisciplinarios, cada vez más impactantes y cada vez más difíciles. Grandes desafíos requieren de una gran teoría, por eso se necesitan más estudiantes e investigadores con una fuerte formación básica y ganas de aplicarla. El mundo está yendo hacia allí.

Hace pocos meses despertamos con una noticia impactante: el programa de computadora AlphaGo, diseñado por Google, había vencido por primera vez a uno de los mejores jugadores del mundo de go, el juego de mesa. Si bien ya hace dos décadas de la victoria en el ajedrez de Deep Blue sobre Garri Kasparov, aún se pensaba que la complejidad del ancestral juego chino haría prácticamente imposible este hecho.

Lo realmente interesante es que las herramientas que permitieron la victoria de AlphaGo son las mismas que hacen que, ante una imagen (que para una computadora son un montón de píxeles sin sentido), un algoritmo pueda entender que se trata de un atardecer, un perro o una bicicleta, realizar reconocimiento de voz o detectar y transcribir la melodía principal en una pieza musical. Todas tareas que, hace algunos años, los humanos hacíamos muchísimo mejor que las computadoras, al punto de que era difícil imaginar que se podía llegar a resultados aceptables mediante lo que ahora se conoce con el marketinero nombre de Inteligencia Artificial.

Algo similar sucede con otra gran familia de algoritmos. Hoy en día se pueden realizar resonancias magnéticas con menos tiempo de exposición, o tomografías computadas con menos radiación, y los sistemas de recomendación de Netflix o Amazon nos sugieren qué nos gustaría ver, leer, o comprar en función de lo que hemos visto o comprado en el pasado, y en general estas recomendaciones son muy criteriosas.

Todo esto y muchísimo más se basa en una preciosa teoría matemática, de la que uno de los responsables es Terence Tao (ganador de la

medalla Fields, el premio más prestigioso en matemática). Este es un ejemplo de un área que es tan atractiva para matemáticos “puros” como “aplicados”, aunque esta distinción sea cada vez más difusa.

Muchas veces la comunidad científica logra algoritmos que funcionan muy bien para determinada tarea, y luego se entiende la teoría que hay atrás de esto. Otras veces sucede al revés: ciertos resultados dan lugar a aplicaciones impensadas para los creadores originales. Así, la teoría y algoritmia en distintas áreas como optimización, ecuaciones diferenciales, geometría, probabilidad o grafos (por nombrar algunos ejemplos) se complementan para lograr aplicaciones sorprendentes.

La Maestría en Ingeniería Matemática es el lugar natural para amalgamar estos mundos. Así lo venimos haciendo, pero aún tenemos espacio para hacer más. Por eso, terminamos con tres invitaciones.

Invitamos a los estudiantes de todos los niveles a volcarse a carreras tecnológicas. Y a aquellos que ya lo hicieron, a profundizar en la teoría y en las herramientas que permiten aplicaciones tan interesantes y necesarias. Invitamos a los colegas de la academia a sumarse y unir esfuerzos para lograr metas

comunes, a traer problemas que podamos resolver juntos. Invitamos también a empresas, consolidadas y start-ups, a que busquen tareas que se puedan realizar mejor, procesos que se puedan optimizar, y espacios para que la creatividad permita hacer la diferencia; nos ofrecemos a acompañarlos, a que tengan un área de investigación dentro de su empresa. El objetivo es claro, y los ejemplos de éxito son sumamente motivantes.

Caminemos juntos, entonces, que el camino es divertido y los resultados son tan útiles como gratificantes. ■

FIORI es doctor en Ingeniería Eléctrica y asistente del Instituto de Matemática y Estadística Rafael Laguardia de la Facultad de Ingeniería. Además, es investigador del Pedeciba en Matemática y del Sistema Nacional de Investigadores.

# ¡Agua! ¡Den agua a las cuerdas!

EN 1581 UN joven de 19 años se matriculó, por voluntad de su padre, como estudiante de medicina en la Universidad de Pisa. Cuatro años más tarde cambió de carrera y se dedicó a las matemáticas. Esta decisión fue determinante para su vida y es probable que haya sido apuntalada por el especial momento histórico que le tocó vivir. En pleno Renacimiento, la difusión de las ideas del humanismo determinaba una nueva concepción del hombre y el mundo, tras siglos de predominio de una mentalidad rígida y dogmática. La siguiente historia de ingeniería, que pudo haber sido tema de reflexión del estudiante mencionado, ilustra bien la época.

Se trata de la erección del obelisco de la plaza de San Pedro en Roma. El obelisco -un monolito de piedra sin inscripciones, con más de 320 toneladas y 25 metros de alto- fue transportado desde Egipto en tiempos del emperador Calígula, en el año 37, y estuvo enclavado en su circo privado. Allí fue donde se torturó y crucificó al apóstol Pedro, razón por la que el obelisco fue denominado “el testigo mudo”. Su traslado desde Alejandría a Roma había sido una hazaña, pero 1.500 años después el obelisco yacía abandonado cerca de la Sacristía de la Basílica. Llegó a su ubicación actual durante el pontificado de Sixto V, que, conocido como

el “papa terrible”, se destacó por su severidad como consejero de la Inquisición de la iglesia católica. Su origen humilde lo obligó a trabajar como porquero cuando niño y se decía que como consejero aplicaba al pueblo la misma rudeza que había aplicado a la manada de cerdos.

La maniobra de traslado del obelisco a la Plaza de San Pedro fue adjudicada al ingeniero Domenico Fontana y constaba de tres etapas. Primero se lo debía colocar horizontalmente sobre rodillos, luego transportarlo y por último posicionarlo verticalmente sobre un basamento en el centro de la plaza. Para realizar el trabajo se precisaron 900 hombres, 75 caballos, varias decenas de cabrestantes e innumerables andamios y poleas. Sixto V había dado la orden de que durante la ejecución de las maniobras ni los obreros ni la multitud podían pronunciar palabra alguna. Sería aplicada la pena de muerte a quien rompiera el silencio, y para ello se había dispuesto en un lugar bien visible una horca con su verdugo.

El trabajo fue iniciado el 30 de abril de 1586. El 7 de mayo el obelisco estaba colocado horizontalmente en el centro de la plaza. Durante la mayor parte del traslado sólo se habían oído los sonidos de los rodillos sobre los adoquines, los movimientos ágiles de los obreros y los

quejidos de cuerdas y animales. Pero cuando el obelisco ya casi estaba en su posición definitiva, las cuerdas dejaron de correr sobre las poleas: estaban calientes, se deshilachaban y amenazaban con romperse. Domenico Fontana no sabía qué ordenes impartir. Se profundizaba el silencio en la plaza. Era inminente la caída del monolito. De pronto, del silencio se levanta una voz que en un dialecto genovés dijo:

-¡Agua! ¡Den agua a las cuerdas!

El consejo fue inmediatamente seguido por los ingenieros de obra, pues comprendieron que las cuerdas de cáñamo se acortan cuando se mojan y que ese acortamiento cubriría la distancia necesaria para colocar el obelisco en su posición vertical.

El peligro había sido disipado por un marinero llamado Benedetto Bresca, que, por supuesto, fue detenido sin tardanza por los soldados del Vaticano. La historia oficial cuenta que Sixto V recompensó al marinero concediéndole ciertos privilegios. La arbitrariedad de la pena y su levantamiento muestra la liviandad con la que un régimen autoritario puede decidir en un sentido y en el contrario. Pero, además, el episodio es ejemplar, porque ilustra cómo Bresca, con oficio e imaginación, enfrenta un problema difícil arriesgando su integridad.

Esta historia de la ingeniería tiene cierto paralelismo con la que años después debió encarar el joven estudiante de matemáticas que invocábamos al principio, pues su trabajo científico rompió con las teorías oficiales asentadas en la física aristotélica y debió enfrentar a la Inquisición de la iglesia católica. El estudiante se llamaba Galileo Galilei y su trabajo es considerado fundamental en el establecimiento del método científico.

El método es aplicable a todo y tiene sólo dos reglas: 1) No hay verdades sagradas; todas las suposiciones se han de examinar críticamente y los argumentos de autoridad carecen de valor. 2) Hay que descartar o revisar todo lo que no cuadre con los hechos.

### **Imaginación y escepticismo**

En 2015, a 100 años de la denominación de nuestra Facultad como Facultad de Ingeniería, se realizó la primera colación de posgrados. En la ceremonia se hizo un repaso histórico de la evolución de los posgrados desde la salida de la dictadura, para mostrar el enorme crecimiento de los últimos años. Pero además de la cantidad, fue sorprendente su calidad. Por caso, ese mismo año se defendió una tesis de maestría que proponía el diseño, análisis y construcción

de un sistema de orientación espacial y control del primer satélite uruguayo.

El proyecto de trabajo surgió como una colaboración entre el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Antel. Las restricciones técnicas que debía cumplir el satélite eran un verdadero desafío, que fue abordado con una combinación de imaginación y escepticismo propios de la mejor ingeniería: imaginación para idear y proponer soluciones y escepticismo para separar rigurosamente la fantasía de la realidad.

Al igual que este, la mayoría de los proyectos de tesis presentados en la Facultad han generado ciencia y tecnología que contribuyen al desarrollo de la sociedad. Pero también debemos recordar a los investigadores que es importante promover y generar actividades que el ciudadano no especializado pueda apreciar, disfrutar, entender; en definitiva, que todos puedan apoderarse de nuestros logros. En compensación, tal vez en tiempos difíciles para la ciencia y la tecnología podamos esperar que alguna persona del pueblo grite: “¡Agua! ¡Den agua a las cuerdas!” ■

ROMANELLI es doctor en Física Nuclear desde 1994 y profesor titular en la Facultad de Ingeniería.

# Lo esencial es invisible a los ojos

COMO TODAS las grandes ciudades de Latinoamérica, Montevideo es ruidosa. Por lo general la gente no piensa en el ruido como un problema ambiental, ni mucho menos como un problema evitable o por lo menos mitigable. Es como si cada cual asumiera que es un costo inherente a las comodidades de la sociedad moderna, y no algo que muchos padecemos pero a la vez todos generamos.

Sin embargo, cuando el generador de ruido no asume que puede perjudicar a otros, cuando descarta un residuo energético -que es una forma de pensar el problema de la gestión de la contaminación sonora-, alguien está pagando por ese costo no asumido, y por lo general lo está pagando con el deterioro de su salud. Ha costado mucho salir de la idea de que el ruido es un problema de la sociedad moderna, y que se convierte en tal cuando el generador tiene “la mala suerte” de tener por vecino a un “inadaptado”, un “intolerante” o un “insociable”.

Los problemas centrales de ruido en las sociedades del siglo XXI son los mismos que describía Séneca en el siglo I: el ruido del tránsito, el ruido ocupacional y el ruido de ocio. En una carta a Lucilio, Séneca escribió: “Entre los ruidos que hay a mi alrededor sin distraerme, están los carros de la calle, el aserrador vecino, y aquel que

cerca de la fuente de Meta Sudans afina sus flautas y trompetas y, más que cantar, berrea”. Quizá hoy podríamos pensar algo parecido pero en términos de motos y autos, de talleres industriales y fábricas, o de “aquel que al lado de mi casa escucha su musiqueta a todo volumen hasta que se va a bailar a los boliches de moda”.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define desde hace décadas “salud” como “un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no sólo la ausencia de enfermedad o dolencia”, pero recién en 2004 asume que la molestia que ocasiona el ruido es, en sí misma, un efecto adverso para quienes lo padecen.

A partir de esa gran constatación, la calidad acústica ambiental se integra a los llamados “condicionantes ambientales de la salud”, lo que lleva a que en 2011 sea la misma OMS la que publique un estudio documentado con una metodología previamente desarrollada, discutida y evaluada, que indica: “Realizados los cálculos, se estima que los ‘años de vida ajustados por discapacidad’ perdidos en los estados miembros de la Unión Europea y otros países de Europa Occidental debido al ruido ambiental son 61.000 años de vida por cardiopatía isquémica, 45.000 años por deterioro cognitivo en niños, 903.000 años por trastornos del sueño, 22.000 años por tinnitus

(zumbidos o acúfenos) y 587.000 años por molestia. Esto conlleva a que por lo menos un millón de años de vida sana se pierdan cada año por el ruido de tránsito en la parte occidental de Europa”. No es poco. El ruido sigue estando en la lista de los contaminantes a los que se suele prestar atención cuando estallan problemas que toman estado público; sin embargo, la prevención y la concientización no son moneda corriente. Al ruido se alude con metáforas visuales (“voy a ver a los Rolling Stones”, “¿viste qué trueno?”) y quizá eso está relacionado, justamente, con que es un contaminante que *no se ve* y no deja rastros en el ambiente una vez que cesa. Pero a diferencia de lo que tantas veces se dice, empleando las palabras de Antoine de Saint-Exupéry, “lo esencial es invisible a los ojos”, parece que primara el criterio de “si no lo veo, no lo creo”.

Acústica ambiental en nuestro país

El Departamento de Ingeniería Ambiental del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Universidad de la República comenzó a trabajar en áreas vinculadas al ruido en 1991. Primero se abordaron temas ocupacionales, luego se incorporó la visión epidemiológica en relación a la pérdida auditiva -es decir, pensando en la salud auditiva de un grupo humano que comparte algunas

características además de la exposición a ruido y no en la salud auditiva individual, que es un tema que requiere ser abordado por los profesionales de la salud- y en 1996 se comenzaron estudios de mayor porte en acústica ambiental, en particular en relación a mapas acústicos de ruido urbano, por medio de un proyecto de investigación y un convenio con la Intendencia Municipal de Montevideo. Desde entonces, la actividad del Grupo de Investigación sobre Contaminación Sonora ha sido sostenida y creciente. Se ha convertido en un referente sobre acústica ambiental a nivel regional, pero por sobre todo ha tenido la oportunidad de participar en grandes desafíos a nivel nacional. Entre estos está el desarrollo de una metodología para diseñar monitoreos y mapeos de ruido urbano. También se generó un modelo predictivo para evaluar la incidencia acústica de aerogeneradores de gran porte -un problema cuya solución aún no está consensuada a nivel internacional desde que hacia 2006 se constatará, con un juicio internacional mediante, que los modelos comerciales que se aplicaban y aún están en uso no son adecuados y subestiman los niveles sonoros esperados en los receptores-. Asimismo, el Grupo participó en la discusión técnica de la reglamentación de la Ley de Contaminación

Acústica sancionada en 2004 y en la investigación sobre problemas complejos de ruido como inestabilidades termoacústicas en fuentes de gran porte.

Además, el Grupo realiza actividades de difusión y concientización, como la *Semana del Sonido*, que tuvo este año su segunda edición nacional y en la que se contó con actividades gratuitas para todas las edades, conferencias, charlas técnicas y mesas redondas con actores relevantes y especialistas de primer nivel, en las que se logró gran participación de los asistentes. Del mismo modo, la organización de charlas para escolares, liceales y docentes en formación son parte de las actividades que el Grupo jerarquiza, con la convicción de que a largo plazo sólo un cambio cultural auténtico podrá generar una mejora sostenible en la calidad acústica ambiental.

Los actuales conflictos que atraviesa la ciudad de Montevideo ya han estado en la agenda de muchos otros países, con distintos enfoques y diferente grado de éxito. La normativa departamental reclama urgentemente una revisión integral para afrontar la gestión de la contaminación sonora en nuestros días, al tiempo que instrumentos como la definición de Zonas Acústicamente Saturadas (zonas ZAS)

y la realización de mapas acústicos estratégicos (que han demostrado ser exitosos y costoeficientes en países europeos) están “pidiendo pista” para aterrizar en Uruguay. Si esas herramientas fueran adaptadas e incluidas en nuestro -escaso- marco normativo nacional y departamental, contribuirían a mejorar la calidad de vida de la población. ■

GONZÁLEZ es profesora titular en el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental.

# Clima y mecánica de los fluidos

EL SEVERO impacto socioeconómico de la extensa y profunda sequía que experimentó el país en el bienio 1988-1989 fue disparador de una nueva línea de trabajo en la Facultad de Ingeniería: la aplicación de la mecánica de los fluidos al estudio de la dinámica atmosférica y el clima. Se trata de una disciplina que ha tenido en el mundo un espectacular desarrollo científico-tecnológico en las últimas décadas, con múltiples aplicaciones de crítica importancia en diversos sectores de interés nacional, pero que no contaba con una fuerte tradición universitaria en Uruguay.

En el joven Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) se creó el Grupo de Dinámica de la Atmósfera y el Océano, a iniciativa de su entonces director, Rafael Guarga, con el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica y UTE y con la colaboración y guía académica de Roberto Mechoso, profesor del entonces Departamento de Ciencias de la Atmósfera en la Universidad de California, Los Ángeles.

Si bien desde un principio se cultivó una vocación de desarrollar aplicaciones útiles al interés del país, los esfuerzos iniciales se concentraron en la formación de recursos humanos para consolidar el primer núcleo académico, lo cual

implicó necesariamente pasantías de diversa extensión en el exterior de los investigadores que se fueron incorporando al grupo. Durante este primer tiempo se desarrollaron líneas de investigación en análisis de variabilidad climática y predicción climática estacional.

Recién entrado el nuevo milenio, y convergiendo con esfuerzos concomitantes en la Facultad de Ciencias, se estuvo en condiciones de elaborar, implementar y sostener una propuesta conjunta para la creación de una Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera que se concretara en 2007 y que empezara a tener sus primeros egresados en años recientes, paso fundamental para fortalecer el ejercicio profesional de la disciplina meteorológica en el país.

El hecho de que el grupo se desarrollara en el seno del IMFIA le significó una oportunidad de fructífera interacción con diversas ramas de la ingeniería expuestas al clima. Se tejieron inicialmente estrechas colaboraciones con marítima, hidrología, ingeniería del viento, modelación numérica computacional. Dichas colaboraciones, que luego se fueron extendiendo a otros grupos de la facultad y externos, fueron la base desde la cual se abordaron luego múltiples estudios de meteorología y climatología

aplicada a problemas de ingeniería que el país fue requiriendo, en particular a medida que su matriz eléctrica fue diversificándose con la incorporación de energías renovables que dependen del clima, como la eólica y la solar.

## **Riesgo climático en el sistema eléctrico**

De los múltiples proyectos de investigación y convenios de asesoramiento desarrollados en estos más de 25 años de inicio de esta línea de actividad, una fracción significativa refiere a algún aspecto de la gestión del riesgo climático en el sistema eléctrico. En los inicios el énfasis estuvo en el análisis de las anomalías de precipitación y su impacto en la generación hidroeléctrica, pretendiendo informar la planificación estacional en aquellos casos en que existía predictibilidad, fundamentalmente asociada al fenómeno de El Niño-Oscilación Sur.

A medida que se fue diversificando la matriz eléctrica, se multiplicaron las escalas temporales de interés en que algún aspecto del clima es relevante, desde la planificación de largo plazo al despacho de carga. Se trabajó de forma sostenida junto con UTE, la Administración del Mercado Eléctrico y la Dirección Nacional de Energía en el desarrollo de herramientas que ayudan a incorporar

la información climática a la gestión del sistema eléctrico.

### **Agro y meteorología**

Otro sector con el que se interactuó durante todos estos años es el agropecuario. En el período inicial se asesoró a privados mediante la elaboración de pronósticos climáticos a medida para apoyar la toma de decisión; en particular en el sector arrocerero para la gestión de los embalses de riego. Asimismo, se ha colaborado continuamente con la administración pública en muy diversos espacios del quehacer agropecuario: comisiones de sequías, de seguros y colaboración en diversos proyectos de investigación para caracterizar el riesgo climático en el sector y generar herramientas prácticas que faciliten su gestión, últimamente en el marco del desarrollo del Sistema Nacional de Información Agropecuaria.

En la última década, desde la conformación del Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático se incorporó esta temática al trabajo del grupo y a la tarea de asesoramiento a la administración. Se participó en la elaboración del primer Plan Nacional en 2009 y, desde entonces, se ha colaborado en múltiples instancias gubernamentales y proyectos

que abordan el problema de la adaptación al cambio climático.

La reciente reformulación institucional del servicio meteorológico, con la creación del Instituto Uruguayo de Meteorología, brinda una nueva oportunidad y un gran desafío. Antes había sido con motivo de la creación de la Dirección Nacional de Agua y Saneamiento (ahora Dirección Nacional de Aguas), con la que el grupo colabora fuertemente desde su etapa fundacional, en conjunto con la sección de hidrología-clima del IMFIA.

Es mucho lo que queda por hacer para el desarrollo de la ciencia meteorológica en el país y su transferencia tecnológica en instituciones fortalecidas que permitan la implementación de políticas climáticamente inteligentes al servicio de la sociedad. Pero ahora el país cuenta con un camino recorrido que lleva ya un cuarto de siglo y que permite mirar al futuro con otra esperanza. ■

TERRA es profesor titular del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería. Es ingeniero civil por la Universidad de la República y doctor en Ciencias de la Atmósfera por la Universidad de California, en Los Ángeles.

# Un siglo

CUANDO EL 27 de noviembre de 1915 la Facultad de Ingeniería adquirió su designación, habían pasado 30 años desde la creación de la Facultad de Matemáticas y Ramas Afines. Creada por la Ley Orgánica de la Universidad en 1885, fue una novedad institucional realmente insólita que abrió un frente cultural revulsivo para un medio social al que, como invocara el ingeniero José Serrato, le era indiferente y hostil que los jóvenes estudiaran una profesión que se consideraba innecesaria para un país económica y culturalmente dependiente.

Bajo la orientación del rector doctor Alfredo Vásquez Acevedo, quienes inicialmente colaboraron con él trazando con optimismo el derrotero futuro de la Facultad se enfrentaron con audacia a la indiferencia y hostilidad de amplios sectores de la sociedad, proclamando que la formación de los ingenieros era necesaria para conquistar material y espiritualmente la independencia del país. En ese acto fundacional tomaron como propio el proyecto político que fuera proclamado por la generación del 80 con el objetivo claro de que Uruguay dejara de ser “una factoría extranjera”.

La Facultad se creó y organizó para hacer realidad esta riesgosa misión de transformar

la factoría en nación. Por tanto, desde el 10 de octubre de 1892, cuando egresaron los tres primeros ingenieros nacionales y como mensaje orientador para las siguientes generaciones, fue manifiestamente claro que, como afirmara el ingeniero José Serrato al conmemorarse el 60° aniversario de la ingeniería nacional: “La profesión de ingeniero no es un fin sino un medio para resolver grandes problemas económicos y sociales, utilizando para ello los conocimientos adquiridos, en los que predominan los verdaderamente profesionales. Su rol es técnico y social”.

Debemos entender esta reflexión de Serrato en el contexto de la función social que asumieron los ingenieros nacionales tanto en la construcción y organización de los aparatos técnicos del Estado, a los que convirtieron en poderosos y eficaces instrumentos del nacionalismo económico, como en el impulso de profundas reformas sociales tendientes al “mejoramiento de las clases obreras y trabajadoras [...] elevar su cultura, sus medios de existencia y su dignidad humana”.

A partir de 1915 la profesión de ingeniero en Uruguay ya está sólidamente establecida. Se ha constituido y consolidado como una comunidad socialmente prestigiada e

institucionalmente legalizada, cuyo espacio de actividades, además de los propios de la profesión, se realiza desde los puestos de dirección, gestión y técnicos de los departamentos especializados de los ministerios y fundamentalmente de los servicios públicos nacionalizados y estatizados.

En tal sentido, la Fing ha formado un nuevo tipo de profesional universitario: los técnicos del Estado, que se han caracterizado no solo por la calidad de su capacitación científico-técnica sino por la amplitud de su formación cultural, fuentes desde las que se han forjando cuadros técnicos con una elevada conciencia social.

Los ingenieros nacionales se constituyeron en una fuerza social relevante en el proceso de construcción de un modelo económico-industrial autónomo orientado hacia estos objetivos: 1) independencia económica; 2) soberanía energética; 3) estatismo, dirigismo, intervencionismo y desarrollo económico-social planificado, y, 4) autonomía cultural.

Estos objetivos componen una matriz doctrinaria de permanente vigencia que, en medio de los avatares de la historia del país a lo largo de estos 100 años, ha sido el eje sobre el que ha girado la específica actividad

técnico-profesional en sectores clave del proceso productivo nacional, tales como las obras públicas, los transportes, la energía, las comunicaciones, etcétera.

Actualmente los mencionados sectores continúan en contienda, entendiéndolos como cuestiones prioritarias para el desarrollo económico-social del país, pues lo que aún sigue estando en juego es la defensa de la soberanía nacional.

Ha sido en el fragor de estas batallas por modernizar el país que se fue forjando la conciencia social de los ingenieros nacionales, demostrando en la teoría y en la práctica la capacidad técnico-profesional para enfrentarse y resolver los problemas que por su gravedad y urgencia apremian a la sociedad uruguaya.

En un país de complejas relaciones económicas, donde los intereses contradictorios de los distintos sectores sociales impactan no siempre a favor de la autonomía de las instituciones universitarias, se producen tensiones que en determinadas etapas de la historia de la Facultad llevaron a cuestionar los propios principios fundacionales.

Así como la Universidad, la Facultad ha vivido momentos críticos y traumáticos; sin embargo, a lo largo de estos 100 años la

institución se constituyó en un potente centro de producción científica y tecnológica de excelencia reconocida internacionalmente, y ha superado etapas de estancamiento. A partir de 1985, a pesar de haber padecido el genocidio social y cultural que provocó la dictadura, ha seguido avanzando, incrementando las carreras, creando posgrados y maestrías, estableciendo “programas de estímulo a la práctica de la investigación científica y formación de investigadores” (de acuerdo con el ingeniero Oscar Maggiolo), fomentando fuertemente la extensión como forma de vinculación con el medio, es decir, potenciando creativamente hacia la sociedad las capacidades innovadoras de sus profesionales.

Esta Facultad le ha dado al país mujeres y hombres universitarios y ciudadanos ilustres, científicos y técnicos altamente calificados, pero fundamentalmente profesionales socialmente solidarios con los requerimientos del sistema productivo nacional y con las necesidades de los sectores populares más carenciados.

Sobre los hombros de los gigantes que los han precedido —para decirlo con una expresión cara a Isaac Newton— se elevan las actuales generaciones de jóvenes estudiantes,

docentes y egresados de la Facultad de Ingeniería. Ante los retos del presente y las imprevisibles vicisitudes que augura el futuro, a ellos les corresponde el reto de asumir y defender los principios de un legado histórico que Maggiolo sintetizó en *Políticas de desarrollo científico y tecnológico de América Latina* (1968): “Independencia política, independencia económica, autonomía cultural, son los tres factores decisivos de la verdadera independencia de las naciones. La independencia política no es mucho más que una ilusión, si no se fundamenta en una verdadera independencia económica. Esta, a su vez, es solo posible, si existe autonomía cultural, que a través de la producción de técnicas científicas, posibilita el uso autónomo de los recursos naturales de la nación”. ■

CHERONI es profesor agregado de Ciencia, Tecnología y Sociedad y jefe del Departamento de Inserción Social del Ingeniero (Fing, Udelar).



AUNQUE SU HISTORIA COMIENZA DÉCADAS ANTES,  
EN 1916 SE CREA LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
DENTRO DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.  
CON ESTA PUBLICACIÓN, ENTRE REFLEXIVA Y  
DESCRIPTIVA, ENTRE CRÍTICA Y PROPOSITIVA,  
CELEBRAMOS SU PRIMER SIGLO.

