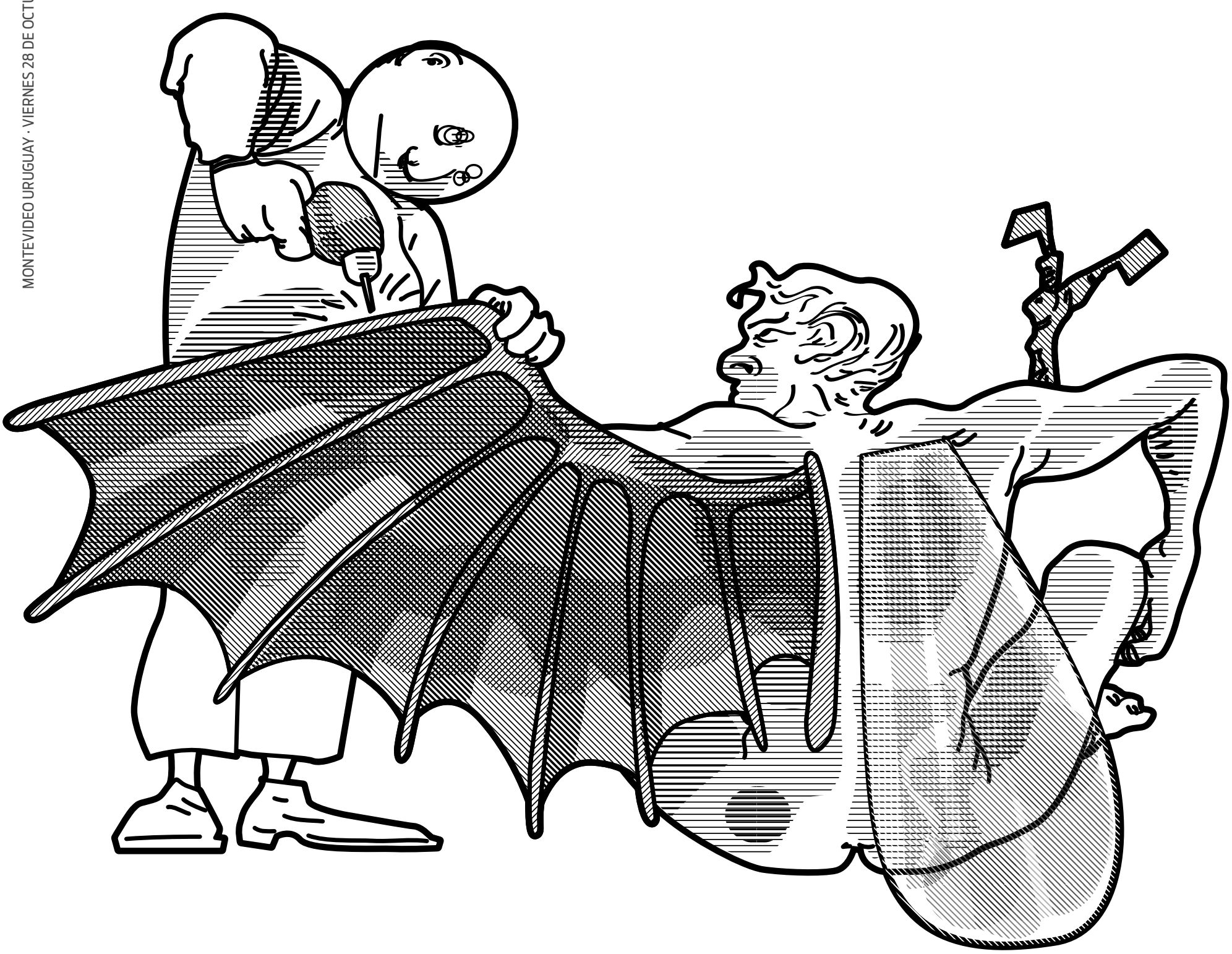
* álef: primera letra del alfabeto hebreo. En matemática se usa para representar los distintos órdenes de infinitos.

la diaria

MONTEVIDEO URUGUAY · VIERNES 28 DE OCTUBRE DE 2011 · Nº 8



A toda máquina

La ingeniería biomédica es la aplicación de las técnicas de la ingeniería a la construcción de herramientas para la investigación y la clínica. Las facultades de Medicina e Ingeniería tienen una experiencia de más de 25 años de trabajo conjunto en la materia. Ahora se busca dar el salto a la producción industrial.

En honor del espíritu humano

La matemática en la cultura y en la educación en el Uruguay actual

Omar Gil es un matemático profesional que se ha interesado seriamente por los problemas de la enseñanza y la divulgación de la disciplina. Escribió una comedia teatral de divulgación matemática, "Primos entre sí", y ahora se encuentra embarcado en un proyecto de danza de similares características. Su libro *Matemáticamente, tenemos chance* acaba de ser publicado por la editorial Fin de Siglo. En él conviven en armonía tres dimensiones tributarias de géneros literarios diferentes: la novela, la divulgación científica y el ensayo. Inmersos en el devenir de una trama narrativa que se cuenta en primera persona y desde una perspectiva humana y vital, es posible encontrar estupendas piezas de popularización del conocimiento matemático y también sólidas reflexiones sobre el lugar propio de la matemática en la cultura y los problemas inherentes a la educación matemática en el Uruguay de hoy.

Omar Gil. / FOTO: VICTORIA RODRÍGUEZ

Aunque el autor tiene sobradas credenciales para respaldar su conocimiento matemático -obtuvo un doctorado en la Universidad Autónoma de Madrid y es investigador del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pedeciba) y docente del Instituto de Matemática y Estadística "Rafael Laguardia" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República-, no es ocioso advertir que estamos en presencia de un gran divulgador. La divulgación científica presenta sus dificultades propias, la principal entre las cuales sea tal vez lograr transmitir ideas ricas y profundas de una forma que resulte accesible a personas sin formación en el campo que se está tratando, pero sin desnaturalizarlas, es decir, sin que del esfuerzo por facilitar la comprensión de esas ideas resulte que se presenten versiones meramente análogas y parciales, sustancialmente alejadas de las ideas en cuestión.

En *Matemáticamente, tenemos chance* no ocurre eso ni una sola vez. Es más: en todos los pasajes de la obra dedicados a la divulgación es evidente el esfuerzo exitoso por transmitir una idea profunda, pero generalmente simple, apoyándose en un instrumental técnico muy sencillo, al alcance de cualquiera. De esta forma, estas piezas divulgativas son valiosas aun para quienes hayan tenido la desgracia de tener que aprender técnicas relativamente complejas sin haber accedido al mismo tiempo a la comprensión de lo que está detrás de los símbolos que manipulan -situación que, el autor advierte, ha sido fomentada por la educación matemática uruguaya-.

De esta manera, el lector podrá encontrar un análisis de las diferentes posibilidades (razonables) de ordenar estructuras ricas -como los resultados de los participantes en un campeonato de fútbol-, con lo que se introducirá mediante ideas naturales en la consideración de objetos matemáticos como los vectores y las matrices, y de allí un pasito más lo llevará a una reflexión sobre grafos, y combinando esas ideas se podrá apreciar qué subyace en el modo en que Google ordena los resultados de las búsquedas. Éste es sólo un ejemplo de lo que se puede encontrar en esta lectura, pero la mente de quien la emprenda hará fructíferas excursiones sobre diferentes geometrías, sobre diferentes tipos de números -en que se destaca una exposición simple y transparente de los números complejos-, sobre diferentes estructuras algebraicas en las cuales no todas las propiedades que "inducimos" a partir de nuestra experiencia con números reales se cumplen, sobre la relación entre los números primos y uno de los problemas abiertos de la matemática más famosos, y, sin ser exhaustivo, sobre algoritmos y complejidad.

Quien escribe esta reseña no puede más que elogiar el estilo en que todo esto se presenta, despojado de toda dificultad innecesaria, pero logrando, sin embargo, lo que es más importante: insertarlo en un marco cultural más amplio.

La matemática como parte de la cultura

Lo anterior nos conduce a un segundo aspecto del libro: su faceta ensayística. A fuer de ser sinceros, el autor de estas líneas debe advertir que esta parte de la reseña puede resultar parcial, dado que comparte la mayoría de las ideas que el autor expone.

Uruguay es un país de riquísima tradición cultural que, sin dudas, se encuentra inmerso en una crisis que afecta a esa dimensión de la vida en sociedad y también a la educación, que, al menos desde algunas perspectivas -y dejando de lado otros aspectos, como la reproducción social-, no es otra cosa que el mecanismo con el que la cultura se transmite entre las generaciones. Seguramente esa crisis no es una característica única de nuestro país, pero aquí tiene elementos particulares. Uno de ellos es que tradicionalmente se ha considerado, para decirlo brutalmente, que las ciencias llamadas "duras" no forman parte de la cultura. Desde esa concepción, culto sería quien pudiese escribir dos o tres páginas sobre la guerra del Peloponeso, pero esa misma persona podría decir, sin sentir menoscabo alguno por la consideración social de su cultura, que ignora las leyes de Newton, las de Maxwell o las de la termodinámica, o que no sabe resolver una ecuación de segundo grado.

Esta concepción funesta de lo que es la cultura, que mutila a la gente y la condena a vivir en un mundo que cambia casi día a día al pulso de los avances científicos y tecnológicos, en un universo sobre el cual la ciencia arroja cada vez más luz, mientras viven en la oscuridad, merece ser combatida. Esto no debe entenderse como un alegato cientificista contra las humanidades, sino como un recordatorio de que la cultura, el legado de nuestros antepasados, consta tanto de las llamadas humanidades como de las ciencias, y de que la dicotomía llevada a esos extremos es partera de hombres mutilados.

Debe quedar claro que Gil no dice nada de esto en su libro, pero la obra es notable en el esfuerzo por mostrar una matemática culturalmente viva, en interrelación con la tecnología y la comprensión que los humanos tenemos del mundo, y también -y esto es fundamental- por mostrar que la matemática es una cumbre del espíritu humano más allá de las ventajas pragmáticas o cognitivas que nos pueda aportar. Al resolver un problema matemático "inútil" -el libro menciona, por ejemplo, el famoso Teorema de Fermat-Wiles-, se hace honor al espíritu humano. Se trata sencillamente de que pertenecemos a una especie capaz de resolver un problema de ese calado, para lo cual es menester levantar impresionantes estructuras teóricas, apabullantes en su belleza y solidez, y capaz de lo que tal vez sea más importante aun: de plantearnos el problema mismo, de llegar a concebirlo como tal.

Suplemento de cultura científica

Redactor responsable:
Marcelo Pereira
Edición:
Aníbal Corti
Colaboradores en este número:
Miguel Molina
Virginia Matos
Daniel Rodríguez-Ithurralde
Corrección:
Ana Lía Fortunato
Edición gráfica:
Sandro Pereyra
Diagramación:
Florencia Lista
Ilustraciones:
Ramiro Alonso

Promueve y Financia
ANII

Una particularidad uruguaya

El último aspecto que será incorporado a esta reseña refiere a la educación matemática, y a algunos de los problemas que ella enfrenta en nuestro país.

Se ha hecho referencia más arriba a la aceleración de la historia. En matemática eso se refleja en el hecho de que la producción científica ha sido mayor en el siglo XX que en toda la historia anterior. De ese enorme caudal de conocimientos, nada, absolutamente nada, se estudia en nuestra educación media. Dice Gil, y no le falta razón, que los programas vigentes podrían haber sido redactados hace más de medio siglo.

No se trata de que la matemática clásica -por llamar de alguna manera a la que se desarrolló hasta el siglo XIX inclusive- no sea valiosa. Pensar eso es absurdo. Desde el siglo XVII existen desarrollos matemáticos de los cuales es imprescindible un conocimiento aunque sea somero para atisbar la complejidad del universo en que vivimos. Se trata, además, de teorías de enorme sofisticación y belleza.

Pero el mundo que nos rodea, poblado de tecnología, sometido en lo social a procesos de agregación de preferencias, es comprensible sólo con una base matemática en la que intervienen de manera esencial muchos desarrollos que tuvieron lugar a lo largo del siglo en que nacimos casi todos los lectores de esta nota.

Y no se trata de que la educación matemática deba servir para que el estudiante haga algo con ella, o sea, no se trata de establecer el germen del ingeniero o del físico en él. Se trata de que, si no se abordan esas ramas modernas de la matemática, se está renunciando frívolamente a establecer puentes entre el objeto de estudio y el mundo en que el estudiante vive. Y esa renuncia tiene costos gravísimos desde el punto de vista del interés del estudiante, y representa una grave falta que la sociedad comete hacia él, porque le oculta una dimensión que lo puede enriquecer y ayudar a comprender algo en su pasaje por este mundo, además de negarle el placer de observar lo cotidiano y sentir que comprende algunos de los principios que lo rigen.

El libro ataca duramente una particularidad uruguaya, que se encuentra enraizada en la historia de las instituciones educativas de nuestro país, y que tiene ramificaciones políticas. En Uruguay, la formación de profesores de educación media es absolutamente independiente de la investigación disciplinaria, que se hace casi exclusivamente en la Universidad de la República. Eso ha tenido como resultado la separación entre quienes van a trabajar en las aulas y las comunidades que investigan, que están al tanto de los desarrollos de la ciencia, que hacen avanzar el conocimiento.

El problema es grave porque las prácticas institucionales han tendido tradicionalmente a una suerte de endogamia, de modo que mientras que Uruguay se ha dado el lujo de tener una escuela matemática que debería ser orgullo de todos los uruguayos -si al menos tuvieran alguna noticia de su existencia-, los matemáticos que la componen jamás han tenido una incidencia más que absolutamente marginal en la confección de programas para la educación media y para la formación de profesores.

El autor advierte que el Instituto Universitario de Educación (IUDE) -creado por la Ley General de Educación que se votó en el anterior período de gobierno- es un paso adelante, pero que puede ser un paso en falso si se trata sólo de un cambio de nombre. Para que sea fructífero, debe tratarse de una institución que tenga realmente estándares universitarios, cuyos métodos de reclutamiento docente sean transparentes y no favorezcan a los egresados de unas instituciones sobre otras, y en donde lo que realmente importe sea la calidad académica en cada área.

Por todo esto, *Matemáticamente, tenemos chance* es un libro muy valioso y muy necesario. Es un libro para divertirse, para aprender, para pensar y para debatir. Es un libro que se instala en el centro de la batalla cultural, y viene a defender nuestras mejores tradiciones y posibilidades. ■

Miguel Molina

Matemática viva

Con Omar Gil, autor de *Matemáticamente, tenemos chance*

-Vos integraste el Programa para el Mejoramiento de la Enseñanza de la Matemática [PMEM], que funcionó durante ocho años en la órbita de ANEP. ¿Qué pasó con esa experiencia? Parecen no haber quedado vestigios de ella.

-El PMEM se instaló en la época en que Javier Bonilla era el presidente del Codicen. El programa hizo dos o tres propuestas grandes, que tenían que ver sobre todo con la formación de docentes. Nosotros teníamos la percepción de que ése era el cuello de botella del sistema. Las propuestas que hicimos estaban orientadas esencialmente a establecer lazos entre el sistema de formación docente y la comunidad matemática. La idea era abrir canales de comunicación, establecer mecanismos para el intercambio de profesores, ese tipo de cosas.

El sistema de formación docente de ANEP es un sistema muy endogámico, que esencialmente recircula las ideas que ya tiene. La matemática que circula allí es muy anticuada. Sus esquemas y aproximaciones tienen que ver con que la gente que la enseña no ha cultivado la investigación matemática, no se ha acercado a la creación matemática. Ello hace que tengan conceptos que más o menos se aproximan a lo que la matemática era hace cien años. Además, tienen aproximaciones a la disciplina que son propias de la gente que ve la matemática ya hecha. Por ejemplo, se preocupan mucho más por cosas como los fundamentos, las estructuras axiomáticas, la estructura lógica; cosas que en realidad a la gente que hace matemática, aunque sabe que son importantes y que son parte de la disciplina, no les resultan tan interesantes como los problemas en sí mismos. Lo que les interesa a los matemáticos no es tanto cómo se estructura lógicamente la matemática cuando ya está hecha, sino cómo la van a hacer. Ese sabor se pierde si la gente que enseña matemática no tiene contacto con la investigación.

Entonces, hubo un conjunto de propuestas en el sentido de que la comunidad de investigadores, la gente que crea conocimiento matemático y lo aplica, pudiera volcar su conocimiento al mejoramiento de la educación matemática. El Codicen de la época no habilitó la implementación de esas propuestas. Ése fue un punto de quiebre. Indicó, incluso antes de que se acabara la gestión de Bonilla al frente del organismo, que el programa no iba a tener gran incidencia, como de hecho no tuvo. A partir de ese momento ya no se podía tener expectativas de que el programa fuera a cumplir a cabalidad con el objetivo que su nombre prometía. Algunos años después se disolvió, en medio de la completa indiferencia del Codicen de Luis Yarzábal.

Hace unos días me entrevistaron para el diario *El Observador* a propósito del estado actual de la educación matemática en el país y pocos días después apareció alguien mandando una carta en que contestaba a mis palabras y se quejaba de que se hubiera consultado a gente que había estado en lugares de decisión, como el PMEM, y que no había hecho nada. A mí me resultó gracioso, porque las cosas importantes que el programa planteó que había que hacer no tuvieron ningún eco en las autoridades. El meollo de la cuestión que planteó el programa no llegó siquiera a ser arañado.

Entiendo que la escasa interacción entre la comunidad matemática y la formación de docentes es negativa para ambos mundos, pero pongo mucho el énfasis en todo lo que pierde la formación docente porque me parece que es el pulmón que debería hacer que las ideas matemáticas oxigenen la vida intelectual, y siento que eso está taponeado por todos lados. Tiene que haber una conexión de la academia con la formación de los profesores. Es algo que no debe esperar a las transformaciones institucionales: debe empezar ya. Lo que se requiere simplemente es un acuerdo entre colectivos de personas. El hecho de que ese acuerdo no se alcance es una verdadera tragedia para el país.

-Es muy interesante algo que acabás de decir. Uno tendería a pensar que el exceso de formalismo, o que el exceso de consideración por los aspectos lógicos y estructurales de la matemática (en detrimento de los aspectos empíricos e intuitivos) podría ser un defecto de los matemáticos profesionales, pero no de los profesores de matemática. Vos lo ves al revés.

-Yo creo que es al revés y creo que es fácil entender por qué. El docente de matemática toma la matemática ya hecha, con la estructura ya dada, mientras que cuando vos estás creando matemática no sabés cuál es la estructura que va a quedar al final. Vos te planteás un problema y a partir de entonces es como navegar en aguas desconocidas. Es como si tuvieras que hacer los caminos en un terreno inexplorado, en una geografía que nadie pisó antes. El docente de matemática ya tiene los caminos hechos y ya tiene el mapa de esos caminos.

En la matemática hay caminos que más o menos se han trazado, pero basta salirse un poco de ellos para encontrarse con un mundo lleno de incógnitas. Me consta que algunos profesores desalientan a sus estudiantes a salirse de los caminos establecidos. Ello no quita, desde luego, que existan profesores que trabajan distinto, o incluso momentos en que un profesor con una práctica esencialmente rígida y estructurada consiga llevar al aula una propuesta más interesante.

Yo no soy especialista en didáctica de la matemática. Soy matemático y me he interesado en cuestiones de didáctica para dialogar en materia de educación. Pero tengo la sensación de que los problemas más grandes de la enseñanza de la disciplina, más que problemas didácticos, son problemas acerca de cuál es la conceptualización que los profesores tienen acerca de los contenidos que están trabajando y acerca de por qué esos contenidos tienen significado y vale la pena que sean enseñados. Yo tengo la sensación de que es un problema más de pérdida de significados que de cómo son los dispositivos que se utilizan para transmitir esos significados.

En el aula se debería transmitir la matemática como algo vivo. Que el profesor realmente haya aprendido los contenidos que está transmitiendo, que los haya incorporado, que tengan un sentido para él, que sepa por qué tienen valor; me parece que ésas son las cualidades principales.

En la situación actual percibo que los chiquilines no tienen idea de hacia dónde va aquello en lo que alguien los metió en algún momento, qué sentido puede tener, ni por qué afecta eso a sus vidas, ni qué tiene que ver con la tecnología con la que convivimos todo el tiempo ni con nuestra visión del mundo. Tengo la sensación de que los estudiantes saben que lo que les estamos intentando transmitir, el mundo que se crea en el aula, es tan artificial, tan ajeno, tan carente de significados que no se meten en él.

-Vos hacés gran hincapié en la matemática como un instrumento al servicio de otros saberes y prácticas (la ciencia, la tecnología), pero también señalás su valor intrínseco.

-Yo defiendo la idea de la matemática como respuesta de la humanidad a problemas, pero también defiendo que la matemática es una estructura que tiene sentido por sí misma, que es satisfactoria intelectualmente y que es placentera por sí misma.

La matemática tiene una vida propia, independiente de sus aplicaciones y de los significados externos. Esa vida propia hace que a veces vuelva al mundo por lugares inesperados y esos giros sorprendentes tienen hasta un cierto dramatismo.

Un caso que comento en el libro -y que se ha vuelto uno de mis favoritos- es que el álgebra que desarrolló Galois a principio del siglo XIX para resolver problemas que tenían que ver con cuestiones relacionadas con ecuaciones polinómicas, que en su época eran candentes, vinieron a resolver, en forma completamente inesperada, problemas de la matemática clásica, como la trisección del ángulo y la cuadratura del círculo, y terminaron, 150 años después, metidos en cuestiones importantes de la tecnología de comunicaciones que hacen que los CD y los DVD que tenemos en nuestras casas funcionen. Es una idea que se ramifica en los campos más diversos llevada por su propio impulso. Las aplicaciones tecnológicas aparecieron muchísimo después.

La matemática tiene eso: su propio impulso y su propio sentido interno te llevan a mundos anteriormente insospechados. ■

Aníbal Corti

De la mesa de diseño a la cama de hospital

Ingeniería biomédica en Uruguay

El Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) de las facultades de Ingeniería y Medicina de la Universidad de la República (Udelar) está consolidado como espacio de investigación interdisciplinaria desde mediados de los años noventa, aunque registra antecedentes inmediatos desde la primera mitad de la década anterior y reconoce incluso precedentes más antiguos. En todo este tiempo, el NIB ha acumulado una experiencia importante en el desarrollo de equipamiento médico. Unos treinta prototipos fueron ensayados, la mitad de los cuales estuvo o está en servicio en hospitales o instituciones mutuales. Ese conocimiento que ha podido vertirse con éxito a la asistencia y a la investigación ha encontrado, sin embargo, dificultades para hacerse un camino hacia la producción industrial. Ése es el desafío de los próximos tiempos.

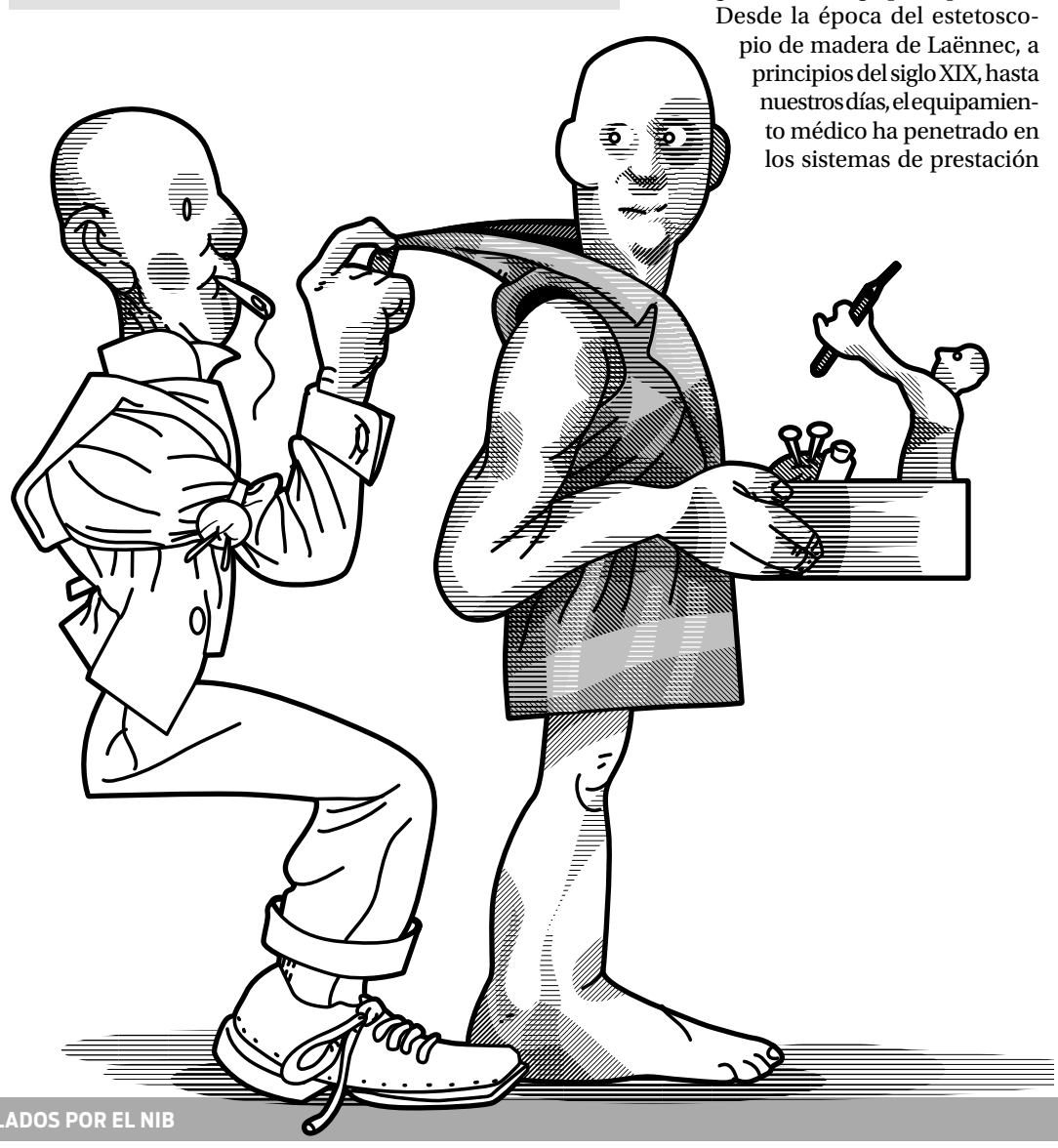
Se dice que un día, para no atropellar el recato de una cierta dama que se encontraba afectada del corazón, el médico francés René Théophile Laënnec enrolló su cuaderno de notas a manera de tubo y auscultó con ese instrumento el pecho de la paciente, evitando así poner el oído en contacto con su cuerpo. Pronto se dio cuenta de que, de ese modo, escuchaba los ruidos cardíacos con una nitidez mayor que al hacerlo en contacto directo con el pecho. Allí habría estado el origen de su idea. También se cuenta una historia bucólica de niños que jugaban en la campiña francesa en torno a un árbol caído. Uno de ellos golpea uno de los extremos del tronco mientras que el otro oye los golpes desde el extremo opuesto.

Como sea que la idea le haya venido a la mente, Laënnec comenzó a usar un instrumento de madera con los dos extremos en forma de cono para auscultar a sus pacientes. Así nació el estetoscopio, un instrumento tecnológico que se ha vuelto un símbolo universal de la práctica médica.

"El estetoscopio de Laënnec, que representa un hito en la historia de la tecnología médica, se ha considerado heráldico de lo que ocurriría después. Antes de Laënnec la auscultación era inmediata, es decir, había que poner en contacto el oído del médico con el cuerpo del paciente: había pues una relación íntima, cálida, táctil, directa entre médico y paciente; el estetoscopio convirtió a la auscultación en mediata y alejó literalmente al médico del enfermo, al interponerse entre ambos. Si esto se interpreta como simbólico, la tecnología se interpone de tal manera que la relación se convierte en médico-máquina-paciente. [...] En esta interacción [...] se distinguen claramente las vertientes de la relación médico-máquina, en que el médico está enamorado de su máquina y soslaya al paciente, y la máquina-paciente, en que el paciente le cree más a la máquina que al médico. [...] En la consideración social de los avances tecnológicos se suele observar una curva bifásica en la que la primera cresta obedece al deslumbramiento con el que se tiende a exagerar los beneficios potenciales; a ello sigue un valle más o menos profundo que obedece a que aparecen los inconvenientes y efectos adversos para, finalmente, sustituirse por una meseta en la que queda representado el verdadero papel de la tecnología en cuestión, con algunas ventajas y desventajas".

La cita anterior es parte de una reflexión más general del médico cirujano Alberto Lifshitz sobre la relación entre la tecnología médica y la práctica clínica, en un editorial de la revista *Acta Pediátrica de México* de hace ya unos cuantos años.

Con sus ventajas y desventajas, la tecnología médica llegó para quedarse. Desde la época del estetoscopio de madera de Laënnec, a principios del siglo XIX, hasta nuestros días, el equipamiento médico ha penetrado en los sistemas de prestación de salud de una manera irreversible. En la mayoría de las instancias de diagnóstico o tratamiento, para cumplir su tarea asistencial el médico depende de uno o varios equipos, cuya tecnología es más o menos avanzada, según los casos.



La explosión de instrumentos tecnológicos al servicio de la asistencia de salud que se ha producido en las últimas décadas se explica no como un desarrollo natural de la medicina en el sentido clásico de esa profesión, sino como un producto del encuentro entre ésta y la ingeniería, es decir, como consecuencia específica del desarrollo de la ingeniería biomédica.

Prótesis, equipos terapéuticos, aparatos de diagnóstico

Un equipo biomédico es una solución tecnológica para extraer y procesar información, para cumplir un tratamiento o para sustituir una función que el paciente no puede desarrollar con normalidad. El primer grupo comprende los aparatos de diagnóstico; el segundo grupo, los equipos terapéuticos, y el tercero, las prótesis. En los últimos tiempos, la ingeniería biomédica también interviene en la gestión y administración de los recursos técnicos hospitalarios.

Los equipos biomédicos abarcan una gran variedad de principios físicos, de tamaños y de funciones. Incluyen una amplia gama de tecnologías, desde la mecánica hasta la electrónica y la informática, pasando por las tecnologías de materiales.

El proceso de desarrollo de cada equipo en particular se inicia con la identificación de una necesidad médica. Por ejemplo, la necesidad de aliviar la presión abdominal del paciente o la de monitorear la evolución de su masa corporal sin moverlo de la cama. La mera identificación de la necesidad no basta, desde luego. Es necesario que ella sea expresada en la forma de una demanda específica y que esa demanda sea registrada por quienes tienen los elementos para satisfacerla.

Todo esto puede parecer trivial, pero en realidad es el paso más importante del proceso. Por desgracia, articular sistemáticamente las necesidades (expresadas en

PROTOTIPOS DISEÑADOS Y DESARROLLADOS POR EL NIB ▸▸

1987

▪ MECVENT

Monitor de la mecánica respiratoria de recién nacidos.

Estuvo en uso en el Centro Latinoamericano de Perinatología (Clap, Hospital de Clínicas) desde 1987 hasta 1998. Ese primer prototipo realizó más de tres mil estudios. Se instalaron dos ejemplares mejorados en instituciones médicas de Montevideo.

1989

▪ TACONATAL

Monitor del ritmo cardíaco por procesamiento de la señal acústica de recién nacidos en tratamiento intensivo.

El prototipo fue probado en el Clap. Actualmente se encuentra a la espera de un rediseño global.

1990

▪ ADSE

Adaptador de señales.

Equipo que permite el acondicionamiento de distintas señales biológicas. Estuvo en uso en la Cátedra de Fisiopatología del Hospital de Clínicas hasta 2001.

▪ MONSE

Monitor de pacientes graves.

Equipo diseñado para la adquisición y procesamiento de señales biológicas de pacientes en terapia intensiva. Algunas de las señales registradas son presión de vía aérea, flujo aéreo, presión arterial pulmonar, presión arterial sistémica, electrocardiograma. Estuvo en uso en el CTI del Hospital de Clínicas desde 1990 hasta 2001.

▪ VESTI 90

Sistema para la adquisición y procesamiento de señales del sistema vestibular.

Este sistema permite el estudio del estado funcional del tronco cerebral. La adquisición de datos y el almacenamiento a disco permite efectuar cálculos y procesamientos de datos para obtener rápidamente algunos parámetros, medición que generalmente implica un arduo trabajo manual. Está en uso desde 1990 en el laboratorio de Fisiopatología Vestibular (Cátedra de Fisiopatología, Hospital de Clínicas).

1992

▪ AUTOVENT

Sistema de control automático de la ventilación artificial.

El prototipo fue probado en el Hospital de Clínicas. Está pendiente de revisión.

1993

▪ NUCLIMAGEN

Sistema de transferencia y presentación de imágenes de medicina nuclear.

Con este instrumento fue posible la interconexión de distintos equipos (con distintos sistemas operativos) para permitir la visualización local y remota de las imágenes generadas en el Centro de Medicina Nuclear del Hospital de Clínicas. Estuvo en uso allí desde 1993 a 2000.

1995

▪ MONRES 94

Monitor sensible al tacto para señales respiratorias.

Este equipo permite la adquisición, despliegue y análisis en tiempo real de señales respiratorias. Está pensado para ser usado en terapia intensiva. El prototipo fue probado en el Laboratorio de Exploración Funcional Respiratoria del Hospital de Clínicas. Está pendiente de revisión.

▪ FARCAR 94

Sistema de adquisición interactiva de datos en tiempo real para estudios farmacológicos.

Este equipo fue desarrollado para la investigación farmacológica de la viabilidad miocárdica (que es la capacidad de recuperación de la función contráctil del tejido frente a la aplicación de distintos estímulos). Está en uso en el Departamento de Farmacología del Hospital de Clínicas.

1996

▪ SAMAY-VR15

Equipo para el estudio de la mecánica ventilatoria en pequeños animales.

Este equipo tiene dos indicadores numéricos que permiten visualizar la duración de las fases inspiratorias y espiratorias así como los tiempos de oclusión, además de la frecuencia respiratoria. Actualmente está en uso en las Universidades Federales de Río de Janeiro, San Pablo, Belo Horizonte, Brasilia y PortoAlegre.

▪ IMPEMAT

Medidor de impedancia corporal.

Este equipo permite medir la impedancia eléctrica del cuerpo humano (la oposición que éste ofrece al paso de la corriente). Mediante las mediciones de impedancia

forma de demandas específicas) con las personas y las instituciones que tienen la capacidad técnica y los recursos para satisfacerlas es algo que no siempre resulta fácil de hacer. No se trata meramente de un tema de gestión. A veces, establecer ese vínculo es algo más o menos trivial: es fácil imaginar a dónde recurrir porque es fácil hacerse una idea de cómo resolver el problema. En cambio, cuando la solución no es evidente, suele no ser evidente tampoco qué puertas se han de golpear para obtener una respuesta satisfactoria. En la práctica, el azar y la oportunidad juegan un papel importante en esta etapa del desarrollo de equipos biomédicos.

Una segunda etapa, que es de trabajo conjunto entre médicos e ingenieros, consiste en el estudio de antecedentes (en atención al viejo principio de que no es conveniente reinventar la rueda), en la imaginación de una forma concreta de dar respuesta a la demanda (la idea básica que orientará el diseño del instrumento) y en la estimación de la viabilidad global del proyecto (su costo, las eventuales limitaciones técnicas que pudieran existir). En esta etapa, para el ingeniero que proyecta el diseño es imprescindible entender los fenómenos fisiológicos, así como tener buenos modelos que simplifiquen el comportamiento del organismo y que permitan hacer predicciones confiables (véase el recuadro "Fisiología y modelos").

Una vez que se ha proyectado el nuevo instrumento y que se ha decidido que su desarrollo es factible, hay una tercera etapa, que es la de conseguir los fondos y formar el equipo de trabajo (muchas veces se incorporan estudiantes a esta tarea), para luego comenzar la fase de desarrollo propiamente dicho, que es típicamente de ingeniería.

Los equipos desarrollados pueden constituir una verdadera novedad (en la medida en que nada parecido exista en el mercado de la tecnología médica) o bien pueden, de forma más modesta, proponerse sustituir tecnología ya existente pero inaccesible o no adecuada a las necesidades del país por diferentes razones. Por ejemplo, un equipamiento importado puede requerir mantenimiento y repuestos caros o no disponibles en el país. En ausencia de esos repuestos, el equipamiento puede resultar inútil. Una alternativa nacional (que incorpore o no elementos de novedad en el diseño) bien puede venir a sustituir esos equipos, en teoría eficientes pero inadecuados en la práctica por causas circunstanciales.

Una vez que el prototipo ha sido desarrollado y está funcionando, debe ser sometido a distintas pruebas que demuestren que cumple con las especificaciones médicas requeridas y que lo hace con el nivel de seguridad deseado. El tipo de pruebas, desde luego, dependerá de las características del equipo. Algunos equipos pueden ser probados directamente sobre pacientes y otros deben aguardar a que sus posibles efectos nocivos hayan sido debidamente descartados mediante pruebas indirectas. Cuando el prototipo ha superado con éxito las pruebas, está disponible para ser incorporado a la asistencia.

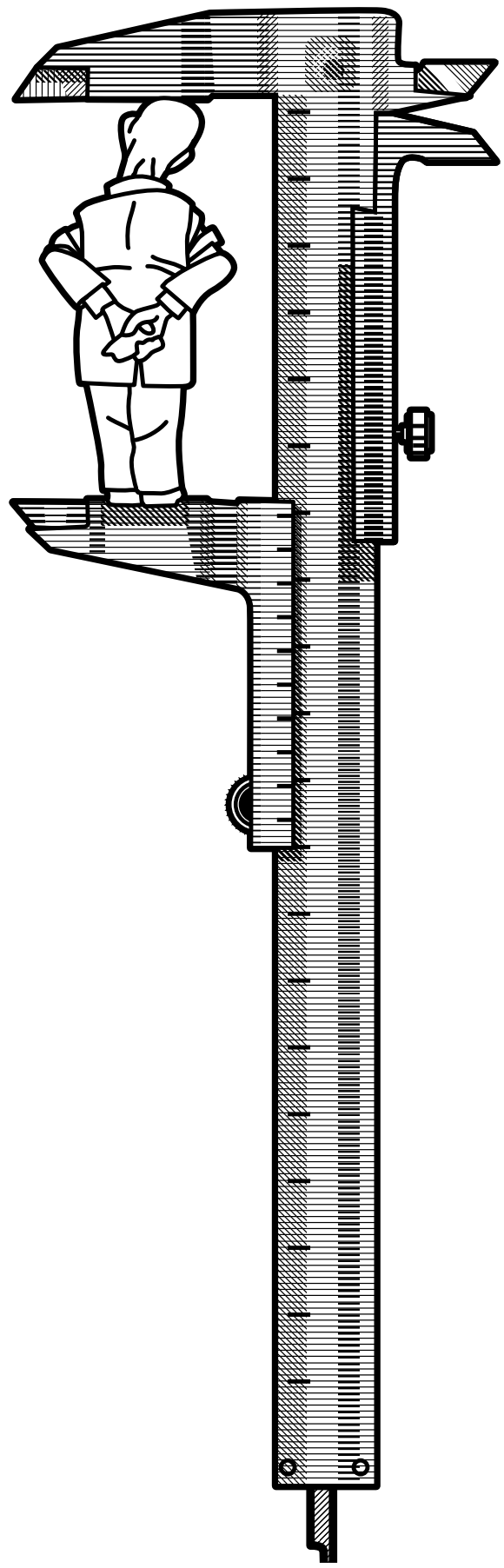
Un poco de historia

Para cuando se fundó el NIB, existían varios antecedentes de encuentro entre la ingeniería y la medicina en Uruguay. Estaba, por ejemplo, el caso de Caldeyro Barcia y su equipo de investigación en fisiología obstétrica, al cual se incorporaron tempranamente técnicos en electrónica e ingenieros, que colaboraban en la investigación fisiológica. En la Facultad de Medicina trabajaron también ingenieros en la aplicación de las primeras etapas de la informática a la investigación neurofisiológica, a comienzos de los años setenta. Por su parte, algunos desarrollos empresariales de equipos de medicina nuclear, neurofisiológicos y monitores de señales cardiovasculares tuvieron su difusión en las décadas del setenta y el ochenta.

Hacia mediados de esta última, varios servicios del Hospital de Clínicas y grupos de investigación básica del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable empezaron a hacer manifiesta la necesidad de contar con equipamiento específico de investigación, de diagnóstico y terapéutico.

El primer prototipo que se desarrolló en lo que más tarde sería el NIB data de esos años. Es un monitor de la mecánica ventilatoria de los recién nacidos. Ese aparato, el Mecvent, tal el nombre con que fue bautizado, medía la resistencia y la complacencia pulmonar. La resistencia es la oposición que las paredes de los bronquios, de los tubos internos de los pulmones, ofrecen al movimiento del aire: si esos vasos están muy reducidos habrá mayor resistencia que si están dilatados. La complacencia, por su parte, refiere a la capacidad de los pulmones de contener aire.

Desde 1985 fueron proyectados y construidos tres prototipos del Mecvent, inicialmente limitado al estudio de la ventilación en recién nacidos y luego ampliado a pacientes adultos. El prototipo original



estuvo en uso en el Centro Latinoamericano de Perinatología (Clap, que funciona en el Hospital de Clínicas), servicio que lo había encargado especialmente, desde 1987 hasta 1998, e hizo más de 3.000 estudios en ese lapso. Los dos prototipos restantes (que son versiones mejoradas del original) están en uso en instituciones médicas de Montevideo. Cuando se inició el proceso de desarrollo del Mecvent no existía en el mercado un aparato que cumpliera una función similar.

En 1990, con base en realizaciones concretas, como el propio Mecvent y otras posteriores, las facultades de Medicina e Ingeniería de la Udelar acordaron crear el NIB. Al año siguiente se creó el primer cargo docente específicamente radicado en el núcleo: el cargo de coordinador. Llamado a concurso, ese cargo fue asignado en 1993 al ingeniero Franco Simini, quien todavía lo ejerce. El núcleo se consolidó entre 1994 y 1997 gracias al apoyo económico del Conicyt, que financia los elementos para la realización de prototipos, el instrumental de los laboratorios y equipos para certificar las normas de seguridad del paciente, y de la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Udelar (CSIC), que mediante su programa de fortalecimiento institucional proveyó de fondos para la contratación de docentes y para adquirir equipamiento destinado al Grupo de Análisis de Imágenes radicado en el Instituto de Ingeniería Eléctrica, que se encuentra integrado al NIB.

Desde 1992 el núcleo lleva adelante, en el primer semestre del año, un seminario semanal. Ingenieros y médicos exponen en ese marco su experiencia en el desarrollo de equipamiento y en la puesta a punto de métodos de análisis de señales e imágenes fisiológicas. Los objetivos del Seminario son contribuir a la difusión de los emprendimientos exitosos en el área y constituir un foro de discusión técnica para la industria y los grupos de investigación. Desde 1995 el seminario del NIB es una materia opcional de la Facultad de Ingeniería. La modalidad de aprobación incluye la realización de un trabajo personal bajo la guía de un docente a elección del estudiante.

Con el antecedente del seminario, el consejo de Ingeniería aprobó en 1997 la inclusión de un curso de Introducción a la Ingeniería Biomédica para estudiantes de grado. Ese curso incluye la realización de trabajos prácticos y de laboratorio. Desde 2004, además, los estudiantes de la maestría en Ingeniería Eléctrica pueden orientar específicamente su tesis final hacia temas de ingeniería biomédica.

◀◀ ▶▶

es posible conocer la manera en que fluye la corriente eléctrica dentro de un cuerpo cuando se aplica una cierta cantidad (muy pequeña) de electricidad en su superficie. Si se conocen las trayectorias que sigue la corriente, es posible conocer también el tipo de materiales (en este caso, tejidos) que atraviesa. De ese modo se pueden realizar estudios tomográficos. Está pendiente de revisión.

1997

▪ CALORNAT

Sistema de control automático de temperatura para recién nacidos.

Este equipo permite controlar la temperatura de tres niños en forma simultánea mediante sensores en contacto con su piel y el manejo de las respectivas fuentes de calor. Dispone de una alarma que se activa al detectar condiciones anormales de funcionamiento. Estuvo en uso de 1997 a 1998 y actualmente está pendiente de revisión.

▪VARFRE

Monitor de variabilidad de la frecuencia cardíaca fetal.

Permite adquirir las señales de frecuencia cardíaca y de presión intrauterina y procesarlas digitalmente en tiempo real. Es de gran ayuda en la conducción del trabajo de parto y, en particular, para detectar a tiempo el sufrimiento fetal agudo. Estuvo en uso desde 1998 hasta 2000 en el Hospital de Clínicas y en Hospital Pereira Rossell. Actualmente está pendiente de revisión.

1999

▪ESPECAR

Sistema para el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

El prototipo fue probado en el Hospital de Clínicas. Está pendiente de revisión.

2001

▪MONICLI

Monitor no invasivo de señales de uso clínico para pacientes en terapia intensiva.

Es una herramienta de monitoreo no invasivo que integra el registro de diferentes señales permitiendo la visualización actualizada de parámetros de interés para el clínico, así como su almacenamiento y su análisis posterior. Actualmente se encuentra en uso en el Hospital de Clínicas.

▪CLASICAR

Sistema de clasificación de complejos QRS.

El latido cardíaco tiene una expresión bioeléctrica compuesta por varias ondas, llamadas P, Q, R, S y T. El complejo QRS es la señal formada por las tres ondas centrales de cada latido. Este sistema ayuda a la clasificación de los complejos QRS en las señales electrocardiográficas mediante un algoritmo específico.

2002

▪CARDIDENT

Sistema de detección, clasificación e identificación en línea de complejos QRS.

Se trata de otro sistema para ayudar a la clasificación de los complejos QRS en las señales electrocardiográficas. Emplea un algoritmo distinto, aunque similar al que emplea Clasicar.

▪IMPETOM-I

Aplicación informática que permite la reconstrucción tomográfica de imágenes mediante mediciones de impedancia.

Esta aplicación prepara cortes tomográficos para seguir la evolución del contenido acuoso pulmonar a partir de una matriz de señales de impedancia superficiales.

▪IMPETOM-C

Equipo para la obtención de la matriz de impedancias del tórax.

Mediante una cinta aplicada sobre el tórax del paciente este equipo inyecta corriente eléctrica de intensidad conocida y detecta diferencias de potencial entre electrodos cutáneos. Esos datos se organizan por medio del Impetom-I para ofrecer una imagen tomográfica del tórax.

▪ PESOPAC

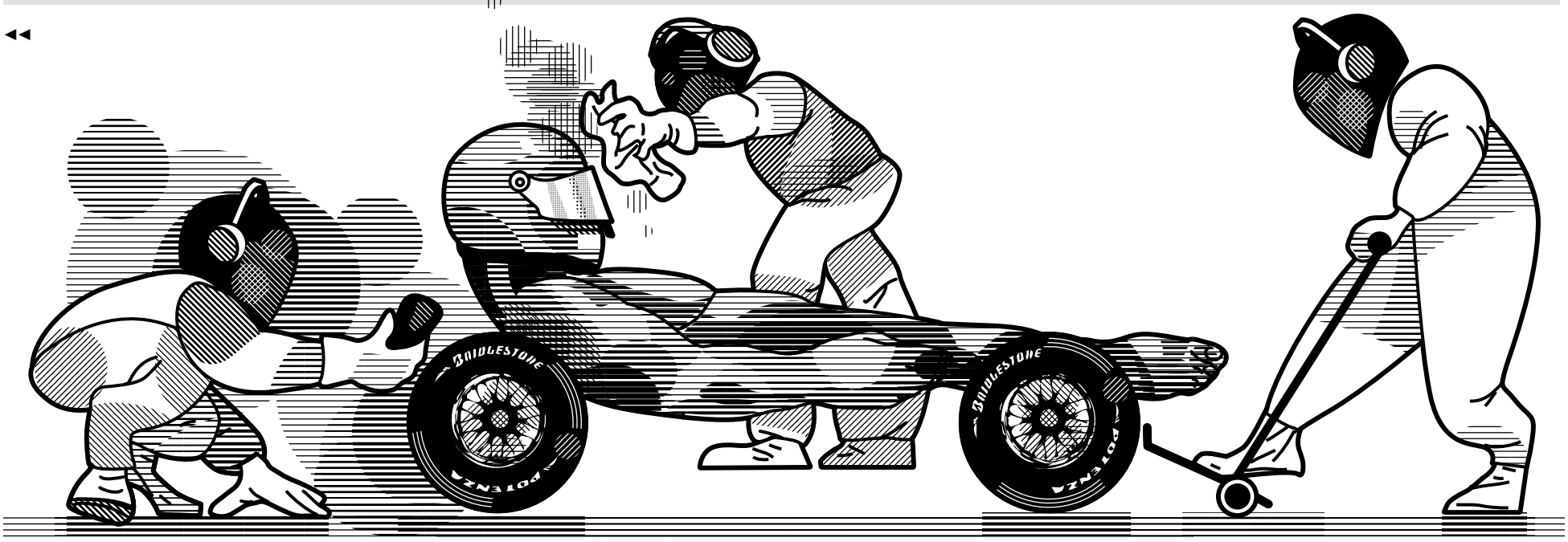
Monitor del peso de paciente.

Es un sistema de medida de la evolución de la masa corporal del paciente en la propia cama del hospital, que encuentra especial utilidad para el caso de pacientes que están imposibilitados de moverse pero que necesitan un monitoreo de su peso, como ocurre, por ejemplo, en los CTI y centros de diálisis y de quemados.

▪ ADQCAR-01

Sistema de adquisición y grabado de señales biológicas en tarjeta flash para su posterior análisis.

Este equipo permite la grabación de señales biológicas usando componentes de estado sólido, teniendo en cuenta una estructura de diseño que permita su futura miniaturización, así como también una base para futuros desarrollos.



Presente y futuro

El NIB ha acumulado en todos estos años una buena experiencia en el diseño y manufactura de equipamiento médico. Ciertamente no se trata de equipamiento médico de gran porte, del tipo que incorpora tecnologías avanzadas (como la tomografía por emisión de positrones, por ejemplo, u otras variedades de la medicina nuclear), aparatos cuyo desarrollo supone una gran inversión económica, sostenida en el tiempo, en infraestructura y en recursos humanos; un tipo de inversión que el país nunca ha hecho, ni está claro que vaya a hacer en el futuro próximo. El foco del NIB está puesto, en cambio, en los equipos pequeños, cuyo desarrollo supone una inversión relativamente modesta.

En ese campo específico, entonces, puede decirse que el núcleo ha acumulado una buena experiencia. En poco más de 25 años ha desarrollado cerca de 30 prototipos, la gran mayoría de los cuales fueron sometidos a ensayos clínicos o probados en la investigación. Más de la mitad de esos prototipos fueron incorporados a la asistencia: se utilizaron en algún momento (o se utilizan todavía) en el Hospital de Clínicas, en el Hospital Pereira Rossell, en mutualistas de nuestro país o en instituciones médicas de la región. Puede decirse, en suma, que el NIB ha acumulado un cierto *know-how* en todo este tiempo.

Entre sus debilidades están, por supuesto, los problemas de presupuesto y la escasez de recursos técnicos. Las fuentes nacionales de financiamiento para este tipo de desarrollos tecnológicos son bastante limitadas. Se circunscriben casi exclusivamente a los fondos que aportan la propia Udelar y las instituciones públicas que promueven la ciencia y la tecnología. En cualquier caso, el núcleo ha sido muy eficiente en el uso de los recursos, ya que con su reducido presupuesto y su escaso equipamiento ha logrado construir y poner a punto todos los prototipos que fueron diseñados.

La estrategia actual que sigue el NIB a este respecto es la búsqueda de socios comerciales extranjeros. Dos estrategias anteriores para transferir a la industria nacional el conocimiento generado en el núcleo fueron total o parcialmente fallidas. La primera consistió en incentivar a los propios ingenieros que creaban los prototipos a convertirse ellos mismos en empresarios, por la vía de subvencionar los primeros pasos de la producción industrial del producto. La experiencia indicó que un buen ingeniero no necesariamente es un buen empresario y que una buena idea no necesariamente se transforma en una empresa económicamente viable. La segunda estrategia consistió en transferir la tecnología a empresas nacionales ya instaladas y recibir como retribución una parte de las ganancias de la venta del producto, en caso de que éstas existieran. Ello en general no ha ocurrido.

En 2011 el NIB concurrió por segundo año consecutivo a la feria internacional de equipos médicos más importante de la región, Hospitalar, que se hace en San Pablo. Según informó en su momento la revista *enlaces.fing*, que publica la Fundación Julio Ricaldoni de la Facultad de Ingeniería de la Udelar, entre varios contactos internacionales hechos en la oportunidad el NIB inició negociaciones concretas con una institución de investigación privada europea. ■

Aníbal Corti

Fisiología y modelos

Para el proyecto de un equipo interesa establecer el modelo que pone en relación las diferentes variables a medir e interesan las características técnicas de las magnitudes a medir. Por ejemplo, para el proyecto de un equipo de registro de la señal de electrocardiograma (ECG) generada por el corazón, nos interesa saber que se trata de una señal eléctrica, estimar su ancho de banda, su amplitud y la impedancia del instrumento que la puede medir. En cambio, para el proyecto de un marcapasos el estudio de la fisiología cardíaca es más profundo, ya que incluye detalles de la estimulación del corazón con sus marcapasos naturales, sus retardos y la intensidad de un estímulo externo capaz de lograr una contracción similar a la natural. En caso de medir el flujo aéreo que entra y sale de los pulmones, se adopta un modelo que pone en relación las diferentes señales involucradas: el flujo de aire y la diferencia de presión que provoca el flujo. Este modelo comprende los parámetros de resistencia y complacencia que explican los diferentes comportamientos de los pacientes según su estado de salud. Es imprescindible tener una buena comprensión de los modelos para simplificar y entender los fenómenos fisiológicos antes de iniciar el proyecto del equipo.

En ocasiones, no se cuenta con un modelo disponible que ayude en el desarrollo y entonces su exploración y la postulación de relaciones entre variables será parte del proyecto, lo que transforma el desarrollo instrumental en investigación fisiológica.

Es en las etapas previas de especificación y desarrollo cuando el proyectista evalúa si dispone de los elementos formales necesarios para su tarea o si debe incluir y ampliar la tarea de investigación básica. Consideremos un ejemplo de desarrollo instrumental en ausencia de un modelo establecido del fenómeno sobre el cual actuar: se plantea el proyecto de una bomba que reduzca la presión intraabdominal por aplicación externa de una presión negativa. Si bien se conoce el orden de magnitud de la presión que desarrolla el paciente infectado y la presión a la que se quiere llegar, no hay estimaciones del comportamiento elástico y disipativo de la pared abdominal sobre la cual actúa la campana de vacío. Para estimar la potencia de la bomba, el proyectista plantea un modelo simple del fenómeno al que se enfrenta con un valor estimado mínimo y otro máximo de los parámetros desconocidos, acudiendo a la literatura sobre características de tejidos animales. Este modelo, junto a las especificaciones de tiempo de acción y presión de equilibrio a mantener, es necesario para proyectar el nuevo instrumento. ■

Texto del ingeniero Franco Simini tomado de su artículo "Proyecto de equipos biomédicos", en *Ingeniería biomédica. Perspectivas desde el Uruguay* (Universidad de la República, 2007).

2003

▪ PREMAX

Equipo de medida de la presión respiratoria máxima.

Mide las presiones máximas desarrolladas por un paciente ambulatorio en inspiración y espiración bucal, y también la máxima presión inspiratoria nasal, utilizando para ello un método no invasivo. Premax incluye el registro de las curvas de presión para su posterior análisis detallado.

2004

▪ BILILED

Equipo de fototerapia neonatal con fuente monocromática para el tratamiento de la ictericia.

Sistema de iluminación monocromática especialmente diseñado para el tratamiento por fototerapia de la ictericia neonatal. Las características del equipo (en la época en que fue desarrollado) lo convierten en una verdadera innovación. Fue creado originalmente por el físico Horacio Failache, del Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería, y posteriormente perfeccionado en colaboración con el NIB. Fue transferido a la industria en 2006.

2005

▪ IMPETOM

Tomógrafo por impedancias.

El NIB había desarrollado anteriormente (2002) un sistema de inyección de corriente eléctrica y de medida de impedancias torácicas (Impetom-C) y, por otro lado, una aplicación para la reconstrucción tomográfica a partir de esas medidas superficiales (Impetom-I). Este prototipo integra ambos desarrollos e incorpora el diseño de los circuitos de comando y un programa de usuario.

2006

▪ CALANEST

Sistema de registro y control de calidad de historias clínicas de anestesia.

El Departamento de Anestesia del Hospital de Clínicas tiene registros de anestesia desde hace 20 años, con limitadas posibilidades de obtención de indicadores para la gestión asistencial.

2007

▪ ABDOPRE

Dispositivo de aplicación externa para la reducción de presión intraabdominal.

Consiste en una campana de vacío que se ajusta sobre la piel, alrededor del paciente, y permite aliviar la presión en el interior del abdomen al aumentar su volumen.

▪ IMPETOM 48

Tomógrafo por impedancias de 48 electrodos.

Se trata del prototipo Impetom ampliado y mejorado, al cual se le agregaron más electrodos (para tomar en cuanta los efectos de dispersión de la corriente).

2008

▪ PLANOJO

Sistema de logística de atención oftalmológica.

Es el resultado de un proyecto de cooperación entre el NIB y el Centro Oftalmológico del Hospital Saint Bois. Tiene capacidad para la atención de hasta mil consultas por día.

2010

▪ TRAUMAGEN

Historia clínica electrónica con acceso a estudios radiológicos digitales especializada en la atención de pacientes gravemente traumatizados.

Este sistema fue creado para registrar toda la información clínica referente a la atención en departamentos de emergencia de pacientes traumatizados, desde el ingreso hasta el alta, traslado o internación del paciente.

2011

▪ SIMVENT

Simulador para la calibración de ventiladores.

Es un banco de prueba al que se conectan los equipos de ventilación mecánica para evaluarlos y compararlos. Simula, con un pistón y motores, el comportamiento de un paciente con dificultades respiratorias, comandado por un programa que modela las patologías de acuerdo con las indicaciones del usuario.

La mayoría de estos proyectos fueron desarrollados para satisfacer los requerimientos de la materia "Proyecto" del Instituto de Ingeniería Eléctrica, con la coordinación del Núcleo de Ingeniería Biomédica de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Medicina (Universidad de la República).

El paraíso en la tierra

Productores y técnicos elaboran un bioplaguicida de uso agrícola

Producir un bioplaguicida de bajo impacto ambiental, a partir de recursos biológicos locales y con la participación de los propios productores fue lo que propuso un proyecto presentado en 2009 a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) en la modalidad que financia iniciativas de alto impacto social. Una mini planta móvil que obtiene automáticamente el preparado natural acude a los lugares donde los productores la necesitan.

Roberto Zoppolo, en la estación Las Brujas. / FOTO: PABLO NOGUEIRA

El uso de las hojas o los coquitos del árbol del paraíso para producir un insecticida biológico no es una práctica nueva entre grupos de productores orgánicos o integrados* de nuestro país. Pero el tipo de preparación puede variar de acuerdo con el conocimiento, experiencia o preferencia de cada productor. "Algunos usan los coquitos verdes; otros, los maduros. Se puede hacer un fermentado, una extracción de tipo té, o macerar y moler todo antes de procesarlo; es decir, existe una variedad de posibilidades de elaboración del bioplaguicida con una efectividad variable", explica el ingeniero agrónomo Roberto Zoppolo, director del Programa Nacional de Investigación en Producción Frutícola del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y responsable del proyecto. "Entonces, la idea fue generar información consistente respecto del real potencial, buscando estandarizar el producto [para lograr la formulación más efectiva]", agrega.

Desde hace años el INIA tiene un sistema de grupos de trabajo integrados por productores y técnicos, en diversas áreas. Su objetivo es conocer la realidad de los temas de preocupación e interés, lo que permite elaborar diagnósticos que más tarde constituyen insumos que los técnicos del instituto utilizan para determinar los trabajos de investigación a desarrollar. El grupo de agricultura orgánica funciona desde 2004 e integra a productores de todo el país. En este ámbito se llevó a cabo el desarrollo del bioplaguicida.

"Uno de los principios que manejan la agricultura orgánica y la agroecología es que hay una cantidad de mecanismos naturales ya desarrollados; entonces, ¿por qué no trabajar con ellos en lugar de hacerlo contra ellos?", se pregunta el ingeniero agrónomo, y agrega: "Siempre nos preocupó buscar alternativas al uso de agroquímicos".

"En 2007 presentamos un proyecto al Programa de Desarrollo Tecnológico [PDT] en el que identificamos los contenidos de limonoides que tiene el paraíso, que son las moléculas con efecto insecticida y repelente. Estudiamos cómo variaba su contenido en la corteza, en las hojas y en los coquitos con distinto grado de madurez. Y concluimos que la mayor concentración de limonoides se produce en los coquitos cuando empiezan a madurar. También determinamos el mecanismo de extracción más eficiente, que es en base a alcohol, no en base a agua, porque los limonoides son más solubles en alcohol que en agua, entonces con la extracción alcohólica se consigue un mayor porcentaje", indica Zoppolo.

Con el proyecto financiado por la ANII se avanzó un paso más y se compró una máquina móvil importada de Italia que fabrica el bioplaguicida en forma automática.

* "ORGÁNICO" ES UN MÉTODO DE PRODUCCIÓN QUE PRESERVA LOS RECURSOS NATURALES, LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y EL AMBIENTE, SIN LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS DE SÍNTESIS QUÍMICA NI DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS. "PRODUCCIÓN INTEGRADA", POR SU PARTE, ES UN SISTEMA DE MANEJO DE LOS PREDIOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS DE ALTA CALIDAD Y CON ALTOS RENDIMIENTOS QUE PRIORIZA LOS MÉTODOS DE PRODUCCIÓN ECOLÓGICAMENTE SEGUROS Y ECONÓMICAMENTE VIABLES.

De la planta

Los técnicos evaluaron la efectividad del producto en diversas plagas con impacto económico importante, como es el caso de los trips, uno de los grandes problemas de la cebolla, y en la mosca blanca, que es una plaga importante sobre todo a nivel de invernáculo, aunque también afecta a una cantidad de plantas cultivadas a campo, entre ellas, tomate, berenjena, morrón y limón. Se evaluó además en coleópteros fitófagos (que comen plantas) y en algunas lagartas que atacan el maíz. "Encontramos que el efecto difiere de acuerdo con la plaga: en algunos casos funciona como insecticida, por lo tanto la mata, y en otros casos opera como un repelente, desestimulándola", explica.

Según Zoppolo, "esto es comparable a insecticidas convencionales buenos, pero no es tan bueno como los mejores insecticidas. Por otro lado, tiene una cantidad de cualidades que hace que estemos convencidos de que es una alternativa mejor que las otras".

Esas otras alternativas de control de plagas son los agrotóxicos convencionales, que si no se usan correctamente pueden tener consecuencias negativas sobre la salud del aplicador, sobre el ambiente (suelos, cursos de agua, fauna benéfica) y también sobre la salud del consumidor de frutas y verduras, ya que éstas pueden contener residuos de los productos aplicados. Diversos estudios sobre el tema realizados en Uruguay demuestran que en general se hace un mal uso de los agrotóxicos, provocando en muchos casos algunos de los efectos mencionados.

El proyecto incluyó el análisis toxicológico del bioplaguicida. Se midió su impacto en ratas -para determinar qué efectos podría tener en el ser humano-, así como en fauna benéfica, para lo cual se trabajó con abejas. En ninguno de los dos casos surgió nada que indicara algún problema, aseguró Zoppolo.

En opinión del director del programa frutícola del INIA, es posible sustituir el uso del insecticida convencional por el bioplaguicida "pero con una salvedad importante: estas cosas funcionan realmente cuando se aplican en un sistema ajustado, no necesariamente orgánico, pero sí con criterios cercanos a la agroecología, por ejemplo un sistema integrado".

Servicio a domicilio

El proyecto cursa su etapa final, en la cual los representantes del INIA acuden con la planta móvil a distintas regiones del país a hacer la extracción *in situ* con los distintos grupos de productores, previa recolección de los coquitos por parte de ellos. "Hace dos meses se hizo una extracción para un grupo de Santa Rosa, que son unos 12 productores; también fuimos a la Sociedad de Fomento Rural de Villanueva, donde hay 25 productores, y a Colonia Valdense, donde hay un grupo de 35 productores. Está agendada una para un grupo de mujeres rurales de Migues, donde se estima que habrá unas 60 productoras, y otra para Treinta y Tres", relata el entrevistado.

Explica que "el proyecto previó la compra de esta planta móvil pensando en generar un servicio que fuera a los productores y no al revés. En cada zona, les presentamos la información generada y después se les muestra el funcionamiento del equipo. Se entrena a un referente en su manejo, que en una hora queda capacitado para hacer la extracción. La gente puede llamar y solicitar la planta, y se va al lugar".

Esta etapa de trabajo implica además el ajuste de la formulación del producto: se está ensayando el agregado de extracto de marcela, un fuerte antioxidante que evita su degradación en el campo. También se está probando el agregado de extracto de quillaja (árbol del jabón), un emulsionante natural que lo hace más efectivo.

El equipo del INIA está evaluando, además, la posibilidad de promover una formulación comercial del bioplaguicida.

Zoppolo afirma: "Para que estas cosas funcionen se necesita un público consumidor informado, que exija determinadas características al producto que va a consumir; ésa es la locomotora que genera los cambios. Nosotros apostamos a la producción orgánica convencidos de que es una alternativa que además genera una cantidad de herramientas aplicables a la producción convencional o a otros sistemas, que, en la medida en que eso se pueda ir trasladando de un sistema a otro, va generando alternativas más sustentables a las que hemos venido manejando". ■

Virginia Matos

LA RECETA

Zoppolo detalla los pasos a seguir para la elaboración del bioplaguicida. "Se colectan los coquitos cuando se empiezan a poner amarillos (lo cual coincide con un mayor contenido de limonoides) y se pasan por un molino, procedimiento en el cual es importante romper la semilla, ya que es la parte del fruto que contiene la mayor concentración de limonoides. El resultado de la molienda es una masa algo húmeda que se coloca en una malla especial para evitar que salga materia sólida, y se introduce dentro del equipo. La máquina -que puede procesar un volumen de cuatro quilos de coquitos por vez- está conectada a un depósito que almacena 15 litros de alcohol y se encarga de embeber en él la masa de coquitos molidos, de manera de solubilizar los limonoides que van saliendo en el alcohol".

El ciclo de trabajo de la mini planta móvil es de unas 17 horas, durante las cuales se obtienen 14 litros de extracto alcohólico que se recomienda utilizar al 2%, con lo cual se obtienen 700 litros de bioplaguicida listo para aplicar. Este volumen alcanza para cubrir una hectárea de campo, un área importante si se trata de un pequeño productor. Una o dos extracciones anuales son suficientes para proteger los cultivos. ■

HITOS: CLEMENTE ESTABLE

La ciencia básica como motor del desarrollo

AYER SE CUMPLIERON 35 AÑOS DE LA DESAPARICIÓN FÍSICA DE CLEMENTE ESTABLE (1894-1976), MAESTRO, PEDAGOGO Y FIGURA FUNDACIONAL DE LA BIOLOGÍA URUGUAYA. QUIEN FUE SU ÚLTIMO DISCÍPULO LO RECUERDA EN ESTAS LÍNEAS.

Clemente Estable. / FOTO: GENTILEZA IIBCE, S/D AUTOR

Cuando el joven Estable ganó la beca del gobierno español que le permitió trabajar directamente con Santiago Ramón y Cajal de 1922 a 1924, seguro que entre sus objetivos estaba aprender, con el premio Nobel de Medicina, las técnicas neurohistológicas que aquél dominaba como nadie. Pero ciertamente no imaginaba la riqueza productiva que ese viaje originaría, ni la grandeza académica y material del instituto que generó, ni tampoco que hoy, noventa años después, usaríamos esa historia como evidencia de que "la ciencia paga".

A su regreso de Europa, a fines de 1925, este joven maestro de 31 años, sobre quien Cajal sostenía que "se halla asistido de todos los requisitos indispensables para la investigación científica... perseverancia infatigable, amor a la originalidad, entendimiento claro y clarividencia crítica", trae no solamente un acervo técnico sin parangón en el mundo, sino también una amplia perspectiva de la ciencia europea, ya que había visitado, en el último año, muchos importantes laboratorios biológicos de Francia, Bélgica, Holanda, Alemania, Austria e Italia. Y ya en 1927 el Consejo Nacional de Enseñanza Primaria y Normal aprecia que la inversión que había hecho el país no debía perderse, y crea el Laboratorio de Ciencias Biológicas, con Estable como director.

Sus aportes institucionales

Inspirado en su venerado maestro Cajal para elegir a quienes le ayudarían en la empresa, no exigió títulos, sino un puñado de virtudes: dedicación, vocación por el saber, apego a la verdad y contracción al trabajo. Una personalidad tan multifacética, multidimensional, interdisciplinaria e integradora como la de Estable trató de que se desarrollaran en su flamante laboratorio no sólo las disciplinas neurobiológicas de su preferencia, sino todas las grandes áreas de la biología del momento, y así convocó a genetistas, microbiólogos, fisiólogos, citólogos, bioquímicos, zoólogos, y otros.

No comprenderíamos los rápidos avances que logró aquel germen de instituto sin tener presente la actitud pionera de su fundador y colaboradores en pos de los principales adelantos técnicos del momento, o sin resaltar su lucha permanente para obtener apoyo económico nacional e internacional. En 1950, Estable logró comprar el primer microscopio electrónico de Sudamérica, no sólo en virtud de ayudas internacionales, sino también gracias al apoyo de ANCAP y del Banco República. Al mismo tiempo, comprendió que de nada sirven los grandes instrumentos sin expertos que los manejen, y así logró que Eduardo de Robertis, brillantísimo investigador argentino que se había especializado en microscopía electrónica en Estados Unidos, aceptara la empresa, renunciando a importantes ofrecimientos de Norteamérica. Pronto la "primera escuela de microscopía electrónica de Sudamérica" fue polo de atracción para los científicos latinoamericanos y el microscopio electrónico sirvió no sólo para descubrir componentes nunca antes observados de las sinapsis y de los núcleos celulares, sino también para demostrar por vez primera el origen viral de graves enfermedades de los conejos y bovinos uruguayos.

Otra característica que imprimió Estable al naciente instituto fue abrir sus puertas en ambos sentidos: para que sus investigadores fueran a perfeccionarse en los mejores centros mundiales, pero también para acoger a destacados científicos americanos y europeos que aportaron al país técnicas e instrumentación de vanguardia.

Para Estable, el investigador científico debía poder vivir de acuerdo con su vocación. Interlocutor eficaz entre el mundo de la cultura y el ámbito político, logró institucionalizar y convertir en ley el régimen de dedicación total, que profesionalizó la actividad científica y permitió que los investigadores vivieran en forma decorosa.

Algunos de sus aportes científicos

En su laboratorio, ideó innumerables innovaciones técnicas y experimentales, como la biomicroscopía cardíaca, que permitió estudiar los efectos de fármacos colocados en volúmenes pequeñísimos sobre el corazón de conejo, latiendo *in vivo* bajo el microscopio.

En colaboración con reconocidos neurólogos clínicos, estudió microscópicamente el cerebro de pacientes fallecidos por diversas enfermedades neurológicas, con el objetivo de comprender, por el análisis microscópico de los tejidos enfermos, las causas o mecanismos de la enfermedad.

Sus mayores contribuciones científicas personales tal vez fueron las centradas en la estructura y función del sistema nervioso normal. Con frecuencia develó verdades de valor general acerca de la organización estructural y el funcionamiento global de ese sistema. Uno de sus aportes científicos más significativos fue el descubrimiento de las sinapsis axo-axónicas, hallazgo que atacaba en sus mismos cimientos la "ley de la polarización dinámica" de Cajal, que indicaba que el influjo nervioso es "direccionado" o "polarizado" en un sólo sentido por las sinapsis. Hasta el descubrimiento de Estable, se creía que todas las sinapsis eran axo-somáticas o axo-dendríticas y, por ende, se pensaba que el impulso nervioso viajaba en la neurona sólo en una dirección, desde las zonas que reciben los estímulos sinápticos (dendritas y soma) hacia las ramificaciones finales del axón. Aceptar las sinapsis axo-axónicas de Estable implicaba aceptar transmisión en ambos sentidos, algo que no sólo socavaba las ideas dominantes de la época... ¡ampliaba infinitamente las posibilidades de funcionamiento de los circuitos neuronales!

Estable develó la inmensa capacidad plástica de las neuronas, su habilidad para regenerar y modificar sus ramificaciones y conexiones en respuesta a estímulos fisiológicos, o bajo la acción de drogas. Estudió la reinervación de órganos previamente denervados, logrando la reparación total de la conexión y función sináptica, descubrimiento de evidente interés médico.

Sobre la ciencia y el bienestar general

Estable articuló un pensamiento de gran coherencia lógica acerca de la relevancia de la ciencia para el bienestar de las naciones y de la gente, pero no se quedó en consideraciones teóricas sobre ese punto, sino que realizó una ardiente prédica para integrar la ciencia a la cultura de la sociedad, mostrando la importancia del método científico para la modernización del país, el desarrollo de las profesiones y el bienestar humano. Y que, por lo tanto, invertir en ciencia es un buen negocio para los países. He "disecado" sus argumentos en tres puntos principales.

La ciencia es esencial para el progreso económico de los estados. Convencía: "Los países pequeños, no menos que los países grandes, necesitan la grandeza de la ciencia. Con ciencia grande no hay país pequeño"; "las ciencias, para su producción original, requieren grandes gastos, pero no hay nada que sea más significativo, precisamente desde el punto de vista económico, que las ciencias mismas"; "la ciencia da recursos económicos, independencia y poder a los países".

La ciencia fundamental es el principal motor de la economía, la industria y las profesiones. Predicaba: "La ciencia fundamental o desinteresada nutre y da fuerza a la aplicada. Es raíz de las aplicaciones prácticas y de la innovación"; "no hay contradicción ciencia pura versus ciencia aplicada. Prácticamente toda la ciencia realizada como fin en sí es aplicable".

El método científico es vital para la formación de las nuevas generaciones. Estable estaba profundamente convencido de su importancia práctica para la vida de todos, para enfrentar, analizar y resolver críticamente cualquier situación nueva, de la gente, o de los países.

En consonancia con esas convicciones, luchó infatigablemente por convencer a quien lo escuchara de que el país debía desarrollar una ciencia fuerte, con capacidad endógena sostenible de producción, a la vez que independiente y al día con el mundo. Esas mismas convicciones lo llevaron a su corolario, la necesidad de enseñar el método y el pensamiento científico, popularizarlos e interiorizarlos en la formación del niño y del adolescente. El Plan Estable de Pedagogía Causal trata de llevar la ciencia al seno del aula, para que el niño "aprenda ciencia con el método de la ciencia". Y, por sobre todo, desarrollar el espíritu crítico, que concebía como una de las mayores riquezas que la enseñanza debía transferir a las nuevas generaciones.

El Instituto Clemente Estable al presente

El Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE) es hoy reconocido mundialmente como un centro de excelencia en investigación fundamental en las áreas más importantes de la biología. Forma investigadores altamente calificados y realiza docencia de posgrado nacional e internacional (maestrías y doctorados) al más alto nivel. Actualmente egresan de él aproximadamente 20% de los posgraduados en ciencia del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pedeciba).

Día tras día crece la colaboración del IIBCE con todos los niveles del sistema educativo nacional, no sólo con las tradicionales visitas de escolares y liceales a los laboratorios, sino con innovadoras formas de apoyar la formación de maestros de primaria y profesores de enseñanza secundaria. El Laboratorio de Neurociencia Molecular, por ejemplo, está desarrollando, en el marco del proyecto "Estímulo a la cultura científica y tecnológica" del Codicen, y gracias al apoyo de la ANEP y el Pedeciba, un taller para sobre el desarrollo del pez cebra que ha deslumbrado a los maestros participantes. Con la Universidad de la República, además de dirigir estudios de posgrado, orienta pasantías de grado y de profundización, y a estudiantes de la Licenciatura en Biología Humana. ■

Daniel Rodríguez-Ithurralde