



**25**  
AÑOS  
FACULTAD DE  
**CIENCIAS**  
UDELAR





FACULTAD DE  
**Ciencias**

---

UDELAR | [fcien.edu.uy](http://fcien.edu.uy)

---

© DIRAC - Facultad de Ciencias - UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.  
Iguá 4225, Montevideo, Uruguay.

ISBN: 978-9974-0-1294-3  
Noviembre 2015, Montevideo, Uruguay

#### EQUIPO EDITOR

Consejo Asesor Libro Facultad de Ciencias 25 años:  
Rodrigo Arocena / Ricardo Ehrlich / Rodolfo Gambini / Eduardo Mizraji  
Coordinadora: Ana Vasquez

Comisión Editora Columnas *la diaria*:  
Ana Silva / Bettina Tassino / Ana Vasquez

*la diaria*:  
Lucas Silva

ENTREVISTAS Y MESA REDONDA  
Lucas Silva, *la diaria*.

CORRECCIÓN  
Rosanna Peveroni

DISEÑO Y ARMADO  
Jessica Stebniki

FOTOS DE PORTADILLA  
Pablo Vignali

IMPRESIÓN  
Gráfica Mosca  
Depósito legal: 368.533







# Índice

9 | PRÓLOGO [Roberto Markarian]

12 | MARIO WSCHEBOR Y LA FUNDACIÓN  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
[Ernesto Mordecki]

ENTREVISTAS A DECANOS [Lucas Silva]  
20 | Ricardo Ehrlich  
26 | Julio Fernández  
30 | Juan Cristina

38 | LAS COLUMNAS DE OPINIÓN QUE  
CONMEMORAN NUESTROS 25 AÑOS

92 | LA FACULTAD DE CIENCIAS Y SU MIRADA  
PARA LOS PRÓXIMOS 25 AÑOS [Mesa Redonda]

98 | CARTA ABIERTA A CIENTÍFICOS URUGUAYOS  
EN EL EXTERIOR. ENERO DE 1984 [Guillermo  
Dighiero, Ricardo Ehrlich, Mario Wschebor]

101 | ARCHIVO FOTOGRÁFICO









AGRADEZCO a las autoridades de la Facultad de Ciencias poder escribir unas palabras con motivo de estos 25 años. Integré en aquellos años iniciales de la Facultad de Ciencias su Consejo provisorio y su primer Consejo electo. Lo hice en mi carácter de miembro de una Unidad Asociada, el Instituto de Matemática y Estadística «Prof. Ing. Rafael Laguardia» de la Facultad de Ingeniería: en aquellos tiempos compartíamos —y seguimos compartiendo— el común esfuerzo por formar una nueva institución que abarcara las ciencias básicas de la ingeniería, horizonte que posteriormente fue ampliado en gran medida a lo largo de estos 25 años de desarrollo de la Facultad de Ciencias. Participé en muchas de las discusiones fundacionales de la Facultad, acompañando y aprendiendo de las polémicas y acuerdos de, para nombrar sólo a tres, José Luis Massera, Mario H. Otero y Mario Wschebor.

En el mismo 1990 yo terminaba estudios de doctorado en Río de Janeiro, por lo que algunas de esas discusiones las seguí parcialmente. Fueron tiempos fermentales para todos. En la polémica honesta y comprometida, sin más intereses que la construcción de una nueva entidad de alto nivel, discrepamos muchas veces con fervor y siempre con respeto. Incluso entre los matemáticos, el modo en que debíamos repartir esfuerzos entre las dos facultades y los desacuerdos sobre la concentración o no en una sola de ellas fueron motivo de encendidas discusiones que si nos separaron entonces, nos permitieron construir más enriquecedores acuerdos y sólidas amistades posteriormente.

Leyendo los artículos que componen este libro he extraído, un poco al azar, cuatro pequeños trozos que me parecen significativos de la íntima relación entre las preocupaciones científicas y el

profundo humanismo, en el sentido más clásico de la palabra, que caracteriza la vocación y el esfuerzo de la Facultad de Ciencias.

«Nuestra capacidad de generar, preservar y transmitir conocimiento ha signado nuestro devenir como especie». Juan Carlos Valle Lisboa y Leonel Gómez

«La labor científica es una manifestación notable de la creación cultural y un factor de progreso social». Rodrigo Arocena

«La astronomía contribuye a la dimensión humana de la ciencia al plantearse interrogantes sobre el universo, nuestro lugar en él y, en última instancia, sobre quiénes somos». Julio Ángel Fernández

«Durante el desarrollo de la investigación, los mayores esfuerzos se centraron en una amplia región casi desconocida en su naturaleza física: [...] intentábamos construir un mapa de Uruguay en el que el celeste mar fuese el color predominante». Gerardo Veroslavsky

Bienvenidos estos 25 años de la Facultad de Ciencias, orgullo de nuestra Universidad. ▣





# Mario Wschebor y la fundación de la Facultad de Ciencias

EL PERÍODO 1985-1990 fue seminal en la historia del país. La población, que venía de vencer a la dictadura, disfrutaba, al inicio de esa etapa, de un gran optimismo; había confianza plena en los proyectos, acaloradas discusiones y esperanza en realizaciones. Era el momento de la restitución de la democracia y de las primeras elecciones después de la dictadura (a pesar de que todavía había algunos políticos y organizaciones proscritos). La concertación nacional programática, la liberación de los presos políticos, el retorno de los exiliados, y el torrente de sangre de la nueva generación —que rompía los esquemas que intentaron contener su entusiasmo durante una larga década— generaron en Uruguay un campo fértil para la construcción de una nueva sociedad. Se derribaban los mitos que habían contenido el avance de la izquierda, constituyéndose en un momento muy especial en la historia de Uruguay.

Ese período nació del quinquenio anterior, el que va de 1980 a 1985, inaugurado con el principio del fin de la dictadura, por medio del triunfo del No en el plebiscito de 1980. A este hito le siguieron, lenta pero sistemáticamente, la organización de la sociedad en las más diversas formas; esto continuó la tradición de la resistencia a la dictadura, que incorporó las manifestaciones culturales y sociales. También formas más explícitas de organización, como los sindicatos, los gremios estudiantiles, los movimientos cooperativos y diversas formas de organización territorial o en función de intereses o actividades. Esta red de organizaciones —que interactuaba con los partidos políticos democráticos, en la clandestinidad, en el exilio y en el país— logró un cambio en la estructura político-institucional del país. Sin duda, la década 1980-1990 fue una de las más importantes para la historia de

Uruguay, porque se produjeron cambios enormes en la organización social y política, que resultaron esencialmente de la intención y de la actividad popular.

Lo descrito antes, más allá de enmarcar históricamente el período de discusión y fundación de la Facultad de Ciencias y de la actividad de su primer decano en ese período, el doctor Mario Wschebor, nos traslada hacia la subjetividad del momento: se sentía en el aire la posibilidad de transformar el país y sus estructuras; se creía posible mover los límites del subdesarrollo histórico del país, cambiar la estructura productiva, salir de la lógica del «no se puede» y remover viejos hábitos que integraban la cotidianidad de los uruguayos.

Esto lo mencionamos, además, para intentar entender la actuación de los líderes de ese momento, de las personas que, sabiendo leer las posibilidades que brindaba la situación, propusieron grandes realizaciones que introdujeron al país en el final del siglo XX, de cara al siglo entrante. Se trató de notables pensadores y luchadores, muchos de los cuales habían sufrido exilio y/o cárcel, que retornaban al escenario de la política con nuevas ideas, con reflexiones emanadas de una década de silencio autoritario.

Esas grandes realizaciones soñaban con otro país; querían un país inteligente, culto, con trabajo calificado, con exportación con valor agregado, que ingresara a la modernidad productiva. Pero ese país no podía construirse únicamente sobre el sustrato cultural tradicional de la primera mitad del siglo XX, que contó con destacadas personalidades en el mundo del pensamiento y la cultura, que prestigiaron la política y la cultura de ese período. Se necesitaba un vuelco sustancial: la revolución científico-tecnológica cambiaba las



Mario Wschebor [foto] FERNANDO MORÁN

reglas de juego de la producción y del intercambio comercial, el surgimiento del correo electrónico y de internet aceleraba los procesos de interacción humana y, por lo tanto, las formas de trabajo. La velocidad vertiginosa de incorporación de avances tecnológicos en todas las áreas de la vida determinaba un cambio de paradigma en la estructura social y productiva del mundo, al que algunos uruguayos visionarios quisieron integrar a nuestro país.

La Universidad de la República no fue ajena a este proceso. En primer lugar, el movimiento universitario participó activamente en la lucha antidictatorial, marcando jalones históricos, como la creación de la Asociación Social y Cultural de Estudiantes de la Enseñanza Pública (ASCEEP), la participación masiva en el acto del primero de mayo de 1983, la organización de la Marcha del Estudiante en setiembre del mismo año y la refundación de la Asociación de Docentes de la Universidad de la República (ADUR).

En ese contexto, la Universidad tenía un rol muy relevante que jugar. De las viejas y prestigiosas profesiones liberales, que regían el

hacer y el saber dentro de la Universidad, se pretendía pasar al modelo que la nueva época reclamaba: había que incorporar la investigación como la gran herramienta de liberación del pensamiento, en el campo de las ideas, de la cultura, de la ciencia, de la tecnología y de la producción industrial. Se trataba de una herramienta para empujar las fronteras de lo posible hacia lo imposible, que permitiría correr el «no se puede» y sorprender a problemas de siglos con ideas nuevas y soluciones originales; ideas revolucionarias que permitieran resolver esos nudos que trancaban el desarrollo nacional.

En ese contexto se generó una nueva comunidad científica uruguaya, que fusionaba a los científicos retornados del exilio —que traían una vasta experiencia de investigación y reflexión sobre la construcción institucional— con la vertiente de los científicos que habían estado presos, que habían construido en las condiciones más difíciles una esperanza concreta para la ciencia en el país. A ellos se sumaron algunos jóvenes que asomaban a la ciencia y otros que habían quedado radiados de su actividad pero permanecieron en el país y rebrotaron retornando a la Universidad, en actos de justa restitución.

Uno de los grandes proyectos de esa época fue la creación de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República. Dicho proyecto contaba con antecedentes muy lejanos, cuando desde la Asociación para el Progreso de la Ciencia se proponía la creación de una «Facultad de Ciencias Exactas y Naturales», alrededor de los años 50. El momento había llegado, y se necesitaban las presencias y el empuje que un proyecto de tales características exigía.

Una de las grandes dificultades en el plano de la discusión institucional se vinculaba con que el imaginario colectivo de la Universidad tenía grabado el Plan Maggiolo como una de sus características y aspiraciones más caras. Este plan consistía, en esencia, en la organización de institutos centrales que concentraran las actividades de la Universidad por disciplina, constituyéndose en grandes institutos referentes a nivel nacional y encargados de la enseñanza de esas disciplinas en todas las carreras que lo requirieran. La creación de una Facultad de Ciencias implicaba una ruptura con ese proyecto; animarse a proponerla era marcar un camino diferente, menos ambicioso pero más realista.

El movimiento popular universitario levantó entonces, en 1984, año del fin de la dictadura, la consigna de la restitución de las

autoridades universitarias anteriores a la intervención. Eso implicaba el retorno del contador Samuel Lichtensztein al rectorado de la Universidad y la restitución de todos los decanos; esa iniciativa triunfó. Lichtensztein convocó a Mario Wschebor, que se encontraba en Venezuela, donde había culminado el periplo de su exilio, a ocupar uno de los cargos de asistente académico del rector, un cargo de particular confianza. Luego de un retorno exploratorio, durante el cual aprovechó para tomar contacto directo con la actividad matemática en el país en ese momento —en particular con el profesor Gonzalo Pérez Iribarren, desexiliado temprano y organizador del Seminario de Probabilidad y Estadística en Montevideo, la especialidad de Wschebor—, Mario decidió aceptar la responsabilidad y retornó al país para asistir al rectorado en el período que se iniciaba. Una de las tareas asignadas por el rector fue el estudio de la posibilidad de creación de una «Facultad de Ciencias Exactas y Naturales», un nombre inicial que luego derivó en el actual, Facultad de Ciencias.

Luego de la visita del rector Lichtensztein al Consejo de la Facultad de Humanidades y Ciencias, presidido por su entonces decano, el filósofo Mario Otero, se planteó la creación de dos facultades «hermanas»: una de ciencias exactas y naturales, y otra de ciencias sociales y humanas. En aquel momento se hizo público un proyecto de la Facultad de Humanidades y Ciencias, que su consejo consideró, para encaminar la creación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. El camino elegido por el Consejo Directivo Central de la Universidad fue la formación de una comisión para la creación de la Facultad, con los cometidos de analizar la situación de la ciencia en el país, preparar los documentos necesarios para la aprobación de la iniciativa, además de vincular y entusiasmar a los colectivos académicos involucrados.

El Programa para el Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pediciba) es, de alguna forma, el antecedente más inmediato y directo de la creación de la Facultad de Ciencias. Las diferencias entre ambos proyectos son notorias. El Pediciba es una organización virtual, sin lugar físico específico, que nucleaba en su origen a los investigadores en el país en cinco disciplinas de las ciencias básicas (biología, física, informática, matemática y química; más adelante se incorporó el área de geociencias), con dos objetivos claros: la organización de los posgrados académicos (en los niveles

de maestría y doctorado) y la promoción de la investigación en las mencionadas disciplinas, promoviendo el retorno de científicos del extranjero y algunos apoyos concretos a los equipos de investigación. La Facultad, en cambio, es un ámbito concreto, posee una sede que la identifica y se encarga de la formación de grado.

Aunque no hay una coincidencia total entre las áreas que cultivan, ambas organizaciones tienen un objetivo común muy relevante, que es la profesionalización de la ciencia, es decir, la formación de científicos en el más alto nivel de calificación, con la doble misión de fortalecer las estructuras académicas del país y de buscar el agregado de valor basado en el conocimiento y en la innovación, con el aporte de personal altamente calificado.

La comisión preparatoria para la creación de la Facultad de Ciencias se integró con una gran amplitud. Participaron representantes de todas las disciplinas científicas involucradas en el proyecto. Entre otras personalidades, el ingeniero José Luis Massera representaba a los matemáticos, el doctor Rodolfo Gambini a los físicos, el doctor Eugenio Prodanov a los bioquímicos, el doctor Ricardo Ehrlich a los biólogos y el doctor Patrick Moyna a los químicos. Se incorporaron también delegados de los órdenes universitarios, como era y es tradición en nuestra Universidad, mientras que Wschebor representaba al rector.

El clima constructivo, apasionado y respetuoso de ese colectivo era lo más parecido que conocí al equipo de la novela *De la Tierra a la Luna*, de Jules Verne. En ese ámbito se imaginaba un futuro promisorio, se delineaba un nuevo país productivo, se buscaban las formas y soluciones para resolver problemas de interacción científica con la producción. Se buscaba aportar a Uruguay pensamiento crítico y constructivo en el ámbito de las ciencias; en definitiva, aportar la herramienta básica con la que cuenta la humanidad para su transformación y superación: la ciencia. Y en ese contexto se proyectaba la creación de una nueva profesión en el país: el científico profesional, con formación de posgrado. Este nuevo profesional iba a poder desempeñar dos funciones centrales del período actual del desarrollo científico-tecnológico: insertarse en el sistema de creación de conocimiento y de formación de nuevos recursos humanos profesionales y científicos, y también insertarse directamente en el sistema productivo, con el objetivo de agregar valor a la producción mediante la búsqueda de



nuevas soluciones tecnológicas y productivas, inyectando conocimiento en estos procesos. Ese es el objetivo central de la creación de la Facultad de Ciencias: la profesionalización de la ciencia y los científicos.

El salto que tenía que dar la ciencia nacional tenía que ir acompañado de una dotación presupuestal importante. Se solicitó un préstamo internacional al Banco Interamericano de Desarrollo para la construcción de un edificio nuevo, donde se instalaría la facultad proyectada. Mario Wschebor, en su calidad de asistente académico, jugó un rol destacado en esas gestiones. La contraparte uruguaya al préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) fue el terreno universitario y la vieja construcción de Malvín Norte, concebida inicialmente para viviendas estudiantiles, que luego de los estudios y adaptaciones necesarios, constituyó la base sobre la que se construyó el actual edificio de la Facultad de Ciencias. El préstamo Conicyt-BID (el Conicyt es el Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología) incluyó también apoyo para el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, además de financiación de proyectos de investigación y de becas de posgrado por intermedio del Pedeciba. Esos fondos habilitaron la compra de equipos de alto costo únicos en el país en ese momento. La construcción de la sede de la Facultad de Ciencias fue un proceso largo y complejo. Se enviaron arquitectos a visitar centros universitarios internacionales, con el fin de incorporar las ideas más modernas sobre arquitectura universitaria. Se construyó así un edificio adecuado para el proyecto, a pesar de las limitaciones que las condiciones edilicias previas determinaban.

La Facultad de Ciencias se creó, entonces, luego del trabajo de la comisión preparatoria, por resolución del Consejo Directivo Central de la Universidad, que nombra además sus autoridades transitorias. El liderazgo de Wschebor en la comisión y en las tareas preparatorias motivó su nombramiento como decano en forma relativamente natural. Es claro que la elección de un decano no siempre es un proceso que transcurre sin contradicciones y discusiones: el interés de diversas personalidades y grupos por asumir la tarea concreta de liderar el proceso de construcción de la Facultad de Ciencias debe interpretarse como una medida de la relevancia del proyecto y del entusiasmo que generaba en amplios sectores de la intelectualidad científica del país.

El decanato de Wschebor se recuerda hoy en la Facultad de Ciencias como el período dorado de su historia. No significa esto desmerecer a los posteriores colegas que asumieron esa responsabilidad. Sencillamente ocurre que en aquel momento estaba todo por hacer, y la visión de Wschebor para entender los nudos difíciles de desatar, dónde apretar o aflojar, constituyeron una mano maestra para surcar las primeras aguas, fueran estas calmas o tormentosas.

Algunos fundamentos básicos de la construcción institucional sobreviven hoy en la Facultad de Ciencias y la distinguen notoriamente de otros ámbitos universitarios. Se construyó sobre líneas directrices muy claras, que constituyen hoy un imperativo que marca al colectivo.

A) Respecto del funcionamiento administrativo de la Facultad, la consigna fue contar con un pequeño equipo de funcionarios comprometidos, eficientes y bien remunerados. Por eso, a las secciones administrativas se incorporaron jóvenes funcionarios que se constituyeron en referentes de los diversos procesos de gestión y gobierno de la Facultad.

B) Respecto de los cargos docentes, la política consistió en sistematizar como cargas horarias básicas las 30 horas en los contratos de grados 2 a 5 y favorecer la exclusividad de la tarea docente y de investigación, utilizando el régimen de dedicación total como norma de trabajo. Es así que la Facultad de Ciencias se constituyó, en sus primeros 25 años de existencia, en el centro científico más importante del país en cuanto a la acumulación de investigadores-docentes, con formación de doctorado, que trabajan en un único centro de excelencia académica.

C) Las unidades asociadas constituyen la solución al intercambio interfacultades. Se trata de asociar, mediante convenios de interés mutuo, a las unidades académicas del nuevo centro con aquellos departamentos, institutos o cátedras dedicados a las ciencias básicas. En la firma de esos convenios, la Facultad de Ciencias compartía una parte importante de su presupuesto al destinar cargos docentes propios a trabajar en esas unidades.

Como anoté antes, Mario Wschebor integró la comisión preparatoria para la creación de la Facultad de Ciencias, actuó como principal referente en la gestión del préstamo Conicyt-BID, fue el primer decano, durante el período fundacional de la Facultad, e imprimió un sello decisivo al inicio de este proyecto universitario y nacional. Cuando culminó su decanato se convirtió en referencia

fundamental para la resolución de los aspectos cruciales del desarrollo de la institución. Su compromiso y dedicación se mantuvieron permanentemente. Rechazó la posibilidad de ser decano durante un segundo período en alguna de las crisis institucionales que se generaron, y su firmeza fue una apuesta a la fortaleza del colectivo, que se consolidó a instancias de su decidida e importante participación. Su relativamente temprana desaparición física, en pleno uso de sus facultades intelectuales y físicas, significó una gran pérdida para la ciencia nacional y para la Facultad de Ciencias. A los que, de diversas maneras, participamos en ese gran proyecto que lo tuvo como abanderado, nos planteó el desafío de continuar su legado, resolviendo y afrontando los nuevos y difíciles desafíos que la profesionalización de la ciencia le plantean al país.

El edificio de la Facultad de Ciencias lleva hoy, merecidamente, el nombre de Mario Wschebor. Pero este nombre está además en el ADN de la institución: en su pensamiento universitario, en los documentos fundacionales de la Facultad, en la generación de científicos que hoy dirigen la institución y que hicieron sus primeras armas a su lado. Se constituye entonces, a pesar de su ausencia física, en una presencia de gran significación y permanencia en la Facultad de Ciencias, en la Universidad de la República y en el país. ▣







# «El futuro de Uruguay no puede estar separado del desarrollo de la ciencia»

RICARDO EHRLICH TUVO UNA PARTICIPACIÓN ACTIVA EN EL PROCESO DE FUNDACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS. FUE SU DECANO ENTRE 1998 Y 2005, ANTES DE SER INTENDENTE DE MONTEVIDEO (2005-2010) Y MINISTRO DE EDUCACIÓN Y CULTURA (2010-2015). ES PROFESOR DE BIOQUÍMICA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS Y PRESIDE ACTUALMENTE EL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN DEL INSTITUT PASTEUR DE MONTEVIDEO. ES DOCTOR EN CIENCIAS POR LA UNIVERSIDAD LOUIS PASTEUR DE ESTRASBURGO (FRANCIA) Y HA SIDO INVESTIGADOR DEL CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DE FRANCIA.

## **Empecemos por los orígenes de la Facultad de Ciencias. ¿Qué papel jugaron el Pedeciba y la CSIC en ese proceso?**

Las dos iniciativas fueron centrales para construir la plataforma científica que luego se va a desarrollar. El Pedeciba [Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas] permitió, en primer lugar, la confluencia entre instituciones. Fue un programa interinstitucional, lo que constituía una novedad para el país; eso permitió acercar instituciones y crear un espacio en el que las instituciones compartían su capacidad científica. El Pedeciba ha centrado todo su esfuerzo hasta hoy —y fue su gran acierto— en la formación de nuevos científicos; construyó el sistema de maestrías y doctorados sobre el cual se va a desarrollar la ciencia contemporánea en Uruguay. Otro acierto es que por intermedio del Pedeciba se logra un espacio donde hay presencia institucional, hay presencia de una comunidad de investigadores y hay presencia del gobierno nacional; hay una asociación entre la Universidad de la República y el Ministerio de Educación y Cultura que asegura su conducción, y donde los protagonistas son los propios actores de la comunidad científica.

La CSIC [Comisión Sectorial de Investigación Científica] fue otra gran creación de la Universidad. Con su creación, inmediatamente posterior a la de la Facultad de Ciencias y en reemplazo de una antigua Comisión Central, la Universidad dio un paso importante; fue posible cierta autonomía para la investigación y un presupuesto significativo. Esa comisión va a elaborar un programa de desarrollo científico con la modalidad de llamados y convocatorias abiertas que van a ser muy importantes. Tanto el Pedeciba como la CSIC empiezan a instalar la cultura de las convocatorias abiertas y de las evaluaciones rigurosas por pares; en una comunidad pequeña como era, y sigue siendo, la uruguaya, esos pares que iban a evaluar podían ser nacionales, pero muy frecuentemente se empezó a convocar a científicos en todas las áreas, de la región y de otros países, para participar en las instancias de evaluación, asignar recursos para proyectos y evaluar trayectorias de investigadores, entre otras cosas.

Pedeciba y CSIC, entonces, jugaron un rol mayor en todo este proceso; y el tercer actor va a ser el Conicyt [Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología], que va a cobrar un rol protagónico. En Uruguay el Conicyt se crea más o menos en la misma época en que se crean estructuras de ese tipo en todo el continente; las organizaciones dedicadas a la ciencia y la tecnología contaban con estructuras y presupuestos muy limitados hasta que se gestionó el primer préstamo del BID [Banco Interamericano de Desarrollo] para ciencia y tecnología. El Conicyt tuvo como presidente a una persona extraordinaria, que va a jugar un rol mayor también en todo el proceso de desarrollo científico y tecnológico de Uruguay: Israel Wonsever. Fue uno de



Ricardo Ehrlich [foto] NICOLÁS CELAYA

los creadores de la Escuela de Economía Uruguay, fue decano de la Facultad de Ciencias Económicas y presidente del Conicyt, que junto al Pedeciba y la Universidad impulsan el desarrollo de la ciencia en Uruguay.

**Uno de los aspectos que destaca Mario Wschebor en su libro *Facultad de Ciencias: los primeros siete años es el desarrollo de las unidades asociadas como germen de lo que luego sería la Facultad de Ciencias*. Él destaca que ese modelo resultó ser innovador para toda la Universidad de la República. ¿Cuánto de esa impronta original acompañó el resto de la historia de la Facultad de Ciencias?**

La iniciativa de las unidades asociadas responde a una preocupación que está vigente hasta hoy: la renovación de las instituciones en un país pequeño está relacionada con una mayor rapidez institucional, mayor complementación, mayor confluencia y una mayor plasticidad para encontrar figuras organizativas e institucionales que puedan acompañar de manera más adecuada las propuestas de

desarrollo. Cuando la creamos, teníamos claro que la Facultad de Ciencias no debía competir con las otras facultades existentes y con sus disciplinas, sino que debía complementar y sumar. Así aparece como una innovación esta idea de las unidades asociadas, con aportes de todas las facultades que estuvieron involucradas en el proyecto original de la Facultad de Ciencias. Participan distintas facultades de la Universidad, el Instituto [de Investigaciones Biológicas] Clemente Estable, y resultó ser una experiencia sumamente fecunda. Permitió que el desarrollo de la Facultad de Ciencias aportara también al fortalecimiento de las áreas científicas en distintas facultades, junto al Clemente Estable, y además logramos crear una cultura institucional diferente. Ese sigue siendo un camino a profundizar, pensando ya no sólo en la Facultad de Ciencias, sino en el desarrollo de toda la enseñanza superior del país. Es una experiencia que podría tomarse en cuenta para definir los próximos pasos que debería dar la plataforma científica nacional.

**Las unidades asociadas, según decía Wschebor, también sirvieron para atemperar algunos recelos que había generado la aparición de la Facultad de Ciencias. ¿Coincide con esa visión?**

Cuando hay una iniciativa de crear una nueva institución, es normal que las instituciones existentes se hagan preguntas del tipo ¿hay cosas que no estamos haciendo bien?; ¿por qué algo nuevo, no alcanza con nosotros? En aquel momento había que mostrar, desde el inicio, que lo nuevo iba a ser para sumar, para trabajar en forma abierta, derribando barreras y hasta murallas institucionales. Así nace la Facultad de Ciencias, con esa idea. Años después, el Institut Pasteur retoma una concepción similar de derribar las barreras institucionales.

**¿Esa ha sido una seña de identidad? Digo esto porque siempre está presente ese estigma de que la ciencia se hace encerrado en los laboratorios; sin embargo, la Facultad de Ciencias ha estado perfectamente integrada a la Universidad y sus organismos. ¿La búsqueda de construir esa identidad fue una manera de contrarrestar esos preconceptos?**

Es cierto que hay científicos que trabajan de forma encerrada, aislados, pero la ciencia se hace de manera diversa, y la hacen científicos que trabajan también de maneras muy diferentes. La ciencia

como tal tiene que estar presente en su sociedad, en el mundo en el que se desarrolla. Una institución científica que no vive abierta a su mundo y a su sociedad es una institución que termina colapsando, encerrada dentro de sus paredes. La percepción de la Facultad de Ciencias como una institución abierta era y es una respuesta a las necesidades que tiene Uruguay; hoy más que nunca, ese sigue siendo el único camino posible para el desarrollo nacional, o sea que el desafío es aun mayor.

**En definitiva, se trata de reforzar esa idea de que la ciencia es parte de la cultura, y no otra cosa.**

La ciencia no se puede desarrollar fuera de la sociedad y sin un ámbito cultural fecundo, al mismo tiempo no se puede hacer ciencia si no se la concibe como parte de la cultura, tanto por parte de quienes hacen ciencia como de la propia sociedad. En algún momento se acuñó una expresión que sigue siendo válida, aquello de que no era utópico pensar en desarrollar la ciencia en Uruguay; lo utópico es pensar que Uruguay se puede desarrollar sin ciencia.

**A pesar de eso, Uruguay sigue siendo un país que invierte poco en ciencia, al menos en términos comparativos.**

Por un lado, ha habido un esfuerzo presupuestal del país. Ese esfuerzo ha sido creciente, pero sigue siendo insuficiente. No podemos dejar de reconocer la creación del Sistema Nacional de Investigadores, de la ANII [Agencia Nacional de Investigación e Innovación), de un sistema de becas para la investigación, los proyectos que se financian en materia de ciencia, tecnología e innovación por intermedio de la ANII; pero como te decía, sigue siendo insuficiente.

Hay resultados importantes en lo que hacen distintas instituciones puertas adentro, pero también en la confluencia de instituciones; incluyo en esto a la Universidad, el INIA [Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias], el Parque Tecnológico de Pando, el Institut Pasteur, el Instituto Clemente Estable. Es fundamental seguir apostando a eso. Creo que hay dos o tres cosas que hoy están arriba de la mesa y que necesitan decisiones políticas. Una es el modelo de país que queremos: para un país con estas dimensiones y con esta inserción internacional queda claro que es central apostar más por las capacidades de nuestra gente, por

lo que los uruguayos podemos hacer. En ese sentido, hay distintos caminos para recorrer. Es probable que no se pueda apostar por la excelencia en todos los rubros, pero hay áreas en las que Uruguay tiene que estar en primera línea, sobre todo porque su futuro depende de eso.

Ahora estamos recordando los 25 años de una institución como la Facultad de Ciencias; es un ejemplo de esas decisiones políticas cuyos resultados se empiezan a ver un tiempo después, pero son decisiones que si no se toman retrasan muchísimo los procesos. Lo otro que me parece importante en estos tiempos es renovar el compromiso social de la ciencia y de los científicos, y renovar el compromiso de la sociedad con la ciencia y los científicos. Son elementos que tienen que ir juntos; es un pacto que tiene consecuencias en la base de la estructura cultural del país, en su desarrollo económico, en la formación de su gente, en la formación de profesionales en todas las áreas y en la enseñanza en las pequeñas ciudades.

**¿Cuánto inciden las condiciones materiales en la posibilidad de hacer ciencia?**

Es una parte importante. Hay un tema con los salarios y con la posibilidad de generar puestos de trabajo. Sigue siendo una batalla permanente la de abrir espacios laborales para las nuevas generaciones de científicos, que cada vez se forman con mayor nivel. Dentro de las instituciones académicas y, fundamentalmente, fuera de las instituciones académicas, en la industria, en la producción. Al mismo tiempo, se necesitan recursos, las inversiones en ciencia siguen siendo insuficientes; hoy las cosas han cambiado en forma notable: antes uno de los mayores problemas para hacer ciencia era el acceso a la información, y eso ha cambiado significativamente.

Los esfuerzos de la ANII, la creación del portal Timbó y otras iniciativas similares para acceder a todo lo que se está haciendo en materia científica constituyen avances muy importantes. Hoy el estudiante prende su computadora y sabe lo que está pasando en su área, en los temas que le interesan.

Al mismo tiempo, hay que ir apoyando el trabajo en investigación con recursos que habiliten las posibilidades de espacios laborales, becas para jóvenes y recursos que permitan investigar. Se está haciendo un esfuerzo grande, pero hay que multiplicarlo.



### **La inversión sigue siendo baja.**

Sumando todo, hoy Uruguay invierte aproximadamente 0,4% del PIB en ciencia, tecnología e innovación; sigue siendo un porcentaje bajo si se compara con otros países de la región, como Brasil, Chile o Argentina. El gobierno ha dado señales y ha asumido el compromiso de llevar la inversión a 1% del PIB; el impacto de esa medida puede ser realmente muy importante, y se va a ver en un plazo relativamente corto, considerando el potencial que tenemos. Es algo que, en lo personal, me ha sorprendido gratamente; después de estar diez años en cargos de gobierno, ahora regresé a la actividad académica y pude ver que el nivel de las nuevas generaciones de jóvenes científicos es muy alto en áreas muy diversas. Hay un nivel de formación que es muy sólido y que ha sido, en muchos casos, reconocido internacionalmente.

### **¿Cómo ve el nivel actual de inserción laboral de los egresados de la Facultad de Ciencias, si se compara con su período en el decanato?**

Para la Facultad de Ciencias siempre ha sido un tema central, también para todas las instituciones que hacen ciencia. El cometido central de la Facultad es formar científicos: para poder hacer ciencia y para poder seguir apostando a la formación de científicos, nuestros jóvenes tienen que encontrar un lugar en nuestra sociedad.

Lo vienen haciendo, con dificultades. De acuerdo con el último censo, en 2014 egresaron 140 jóvenes a las licenciaturas que ofrece la Facultad de Ciencias e ingresaron unos 550, mientras que en posgrado hay un poco más de 60 doctorados y 100 maestrías. La inserción de los egresados: 45% en el medio universitario, 22% en organismos públicos, 17% en el sector privado, 4% en la ANEP (Administración Nacional de Educación Pública] y 12% en el exterior.

### **Los números en la ANEP parecen bajos. ¿Cómo evalúa el vínculo que ha tenido la Facultad de Ciencias con Primaria y con Secundaria?**

El relacionamiento con Primaria, Secundaria, UTU y Formación Docente ha estado muy presente desde la fundación de la Facultad de Ciencias. Para Mario Wschebor era un tema de preocupación

permanente; él como decano estuvo muy involucrado en este tema desde la primera línea. Eso marcó la agenda. En mi decanato también fue un tema de preocupación permanente, y los demás decanos seguramente digan lo mismo. Es así por varias razones, una es la conciencia del aporte que se puede hacer desde la Facultad de Ciencias para apoyar la formación de maestros y profesores a todo nivel; el quehacer científico, como cualquier actividad creativa, permite no sólo aprender una disciplina determinada, sino también aprender a aprender, aprender a conocer. Hoy como ayer, la Facultad de Ciencias está muy comprometida con el desarrollo de actividades de apoyo y formación a nivel de la enseñanza pública; hay distintos convenios con las instituciones respectivas, también con las actividades de promoción y divulgación. Lo viví de cerca cuando estuve en el Ministerio de Educación y Cultura: hay una confluencia muy interesante de las instituciones universitarias (Clemente Estable, Facultad de Ciencias, entre otras) con los Clubes de Ciencia, una iniciativa que afortunadamente ha sido impulsada con mucha determinación desde la ANEP como un espacio de encuentro muy interesante.

Pero con eso no alcanza. Es importante promover confluencias que mejoren el nivel de formación de maestros y profesores en temas científicos, y también en la formación docente. Claramente, pensando en la posible Universidad de la Educación, a la que apostamos como institución de carácter universitario para la formación de maestros y profesores, es importante tomar este camino al que hicimos referencia hace un rato: el requisito de instituciones abiertas, complementarias. Ahí la Facultad de Ciencias tiene no sólo una vocación, sino también una responsabilidad muy grande en cuanto a lo que puede llegar a aportar en los próximos años.

### **Esos cambios positivos que menciona, como lo de la ANEP, ¿dependen en mayor medida de la voluntad política o de los diseños institucionales?**

Es importante la voluntad política, y también hay que llevarlo a la práctica. Para eso, hay que lograr la adhesión progresiva de los actores, que son los que van a darle contenido. También se requieren diseños institucionales que respondan al contexto y a esa voluntad política, y esto requiere recursos que puedan alentar y asegurar esa voluntad política.

**El énfasis de vincularse con las organizaciones de empresarios y con organizaciones de trabajadores es otro elemento recurrente en el libro de Wschebor. ¿Cómo fue ese vínculo en estos 25 años?**

Como en muchos órdenes de la vida, y como bien dicen los maestros: puede y debe rendir más. Y ahí las responsabilidades son compartidas. Uno de los mayores desafíos —urgente, podríamos decir— es el de fortalecer los vínculos entre la empresa y la ciencia, mediante la creación de conocimiento y sus aplicaciones, y el desarrollo de proyectos innovadores. Todo eso va marchando, el trabajo de la ANII es destacable pero todavía insuficiente. Tenemos que multiplicar esos esfuerzos.

Si bien los ejemplos exitosos empiezan a sucederse, estamos lejos —y me refero a los tres actores involucrados: el gobierno, el empresariado y la comunidad científica— de estar satisfechos. Nuevamente se trata de un tema de confianza, de poder hacer una apuesta conjunta al futuro; tal vez un camino posible sea que el país en su conjunto empiece a confiar en las nuevas generaciones de científicos.

Eso implica siempre asumir riesgos. Uno nunca sabe qué va a pasar en un laboratorio cuando se emprende una investigación; lo mismo pasa en una empresa, no siempre está claro qué puede pasar cuando alguien quiere resolver un problema. Nunca vamos a tener la certeza de encontrar las respuestas a nuestras preguntas; lo que sí es seguro es que si no hacemos ni siquiera el intento, no vamos a obtener ninguna respuesta. Hay que sembrar, porque sin siembra no hay chances de cosecha; no todas las semillas van a germinar, pero algunas seguro que van a dar sus frutos.

**¿Al empresariado uruguayo le falta audacia al momento de innovar?**

Es probable que en el país haya un exceso de prudencia. Tenemos una cultura de avanzar solamente cuando estamos absolutamente seguros de que el terreno está firme. Nos pasamos un poco con el tanteo del terreno. Es una concepción que prioriza la reducción de riesgos. Hace pocos días hablaba con un viejo amigo, Enrique Iglesias, durante su visita al Institut Pasteur, y él decía que en Uruguay tenemos un excesivo temor al fracaso. Eso tiene razones históricas y culturales diversas, pero tenemos que empezar a mirar el futuro con mayor osadía, sin temor a equivocarnos. Me parece que el camino que hemos recorrido en muchos terrenos nos debería

llenar de confianza. Cuando mirás lo que pasó en las últimas décadas, algunas veces con viento a favor, pero muchas veces con viento en contra, los avances han sido notables. Esta no es la mirada nuestra, es la mirada que también tienen sobre nosotros desde afuera sobre muchas cosas que se hacen en materia científica en Uruguay.

**Pensando en el desarrollo de las ciencias en el futuro, ¿qué diseño institucional se necesita?**

Creo que las claves están en una mayor apertura; es imprescindible crecer en flexibilidad. En el caso de la Facultad de Ciencias, hay que seguir complementándose con las instituciones de la Universidad y también con otras. Venimos recorriendo ese camino desde su creación, con mucho éxito.

Pero el futuro de las ciencias en Uruguay va a requerir más instituciones que trabajen juntas, que se complementen. Tenemos que lograr tener pequeñas masas críticas en temáticas nacionales. Está claro que eso solo no alcanza; para un país como el nuestro resulta imprescindible sumarnos a comunidades de saberes en la comunidad internacional, más allá de fronteras, pero también dentro de fronteras.

Es realmente importante cada vez que se logra una complementación de ese tipo, por ejemplo lo que hace el INIA con distintas facultades, con el Clemente Estable, o lo que hace el Polo Tecnológico de Pando con empresas. También están pasando cosas importantes en el Institut Pasteur, donde hay grupos universitarios trabajando muy fuerte (de las facultades de Medicina, Ciencias, Química, Ingeniería).

Sin dudas, ese es el camino. Tenemos que pensar, y no hablo sólo de la Facultad de Ciencias, sino de todo el sistema terciario público, en las próximas etapas: hoy, de cada cinco niños que nacen en Uruguay, uno puede terminar la educación terciaria; eso ha significado un enorme esfuerzo y un avance impresionante en los últimos 15 años (los últimos números indican que hay unos 9.000 egresados terciarios por año). Eso está bien, pero sigue siendo insuficiente.

Para eso necesitamos instituciones fuertes, y no puede ser sólo un crecimiento montevideano; hay que desarrollarlo en todo el país, como lo viene haciendo la Universidad de la República con sus centros regionales o todo lo que vienen desarrollando la Universidad Tecnológica y el sistema terciario dependiente de

ANEP. En los próximos años vamos a requerir profesionales dedicados plenamente a la labor académica, a la formación y la investigación en todo el territorio nacional; tenemos que trabajar con mucha fuerza para eso.

**¿La Universidad de la República está en condiciones de acompañar esos cambios con una Ley Orgánica de 1958? El recordado documento de los cuatros decanos, que, entre otras cosas, planteaba la necesidad de modificaciones jurídicas, es de 1993. Ha pasado mucho tiempo.**

Ese debate sigue sin estar bien saldado. No se saldó bien en aquel momento y quedan cambios pendientes. De todas maneras, la Universidad ha avanzado notablemente, y creo que ha habido logros muy importantes, un desarrollo significativo en diversas direcciones. Pero es cierto, la Universidad tiene el compromiso de pensar de cara a las próximas dos décadas. Si uno repasa su historia, con trazos gruesos y muy resumidos: hay un período desde sus orígenes hasta 1958; otro desde ese año hasta 1968, que fue un período estupendo; otro desde 1968 hasta 1973, que fue un período convulsionado del país; después viene la intervención durante toda la dictadura; y luego estos últimos 30 años de reconstrucción y de reorganización. Eso si miramos para atrás, pero hoy la Universidad tiene que proyectarse pensando en las próximas décadas, y eso requiere cambios profundos, una apuesta fuerte a la flexibilidad. Hay que rejuvenecer esa Ley Orgánica, sin dudas, hay que pensar sobre todo en la Universidad como un pilar de todo un sistema terciario universitario público, la creación de la Universidad Tecnológica ya empezó a cambiar ese panorama.

Hay que garantizar que las posibilidades de acceso a la formación terciaria sean iguales en cualquier lugar del territorio uruguayo; eso es clave. La respuesta para eso es la creación de un sistema abierto y flexible, con instituciones que acompañen a los estudiantes, que no haya obstáculos para navegar dentro de ese sistema; ese es el camino que debemos transitar.

**Wschebor planteaba que para Uruguay no hay modernización posible sin inversión en investigación y en la formación de científicos. ¿Ese planteo sigue siendo válido?**

Es un razonamiento que está totalmente vigente. El quehacer científico no es un adorno de la sociedad, es una necesidad del país. Hoy hablamos de un país agointeligente, un país que tiene que saber manejar sus recursos naturales, de manera compatible con su sustentabilidad ambiental, que tiene que buscar nuevas formas de producción de riqueza, que tiene que acompañar los importantes avances del conocimiento científico en biomedicina; un país que apuesta al conocimiento. Hay un bagaje muy importante de conocimiento científico en todas las cosas que están pasando hoy con la biomedicina, no es posible pensar en un país que tenga la ciencia como un adorno o un accesorio prescindible. No veo, como no veía Mario en aquella época, que el futuro de Uruguay pueda estar separado del desarrollo de la ciencia. El futuro del país se sigue jugando al lado de la ciencia. ▣

# «Se están abriendo más nichos laborales para nuestros egresados»

JULIO FERNÁNDEZ FUE DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ENTRE 2005 Y 2010, Y ACTUALMENTE ES PROFESOR TITULAR DE ASTRONOMÍA. LICENCIADO EN ASTRONOMÍA (UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA), REALIZÓ ESTADÍAS DE INVESTIGACIÓN EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID (ESPAÑA), EN LOS INSTITUTOS MAX-PLANK FÜR AERONOMIE Y FÜR KERNPHYSIK (ALEMANIA) Y EN EL OBSERVATÓRIO DO VALONGO, DE LA UNIVERSIDAD FEDERAL DE RIO DE JANEIRO (BRASIL).

**Una impronta fuerte en los primeros pasos de la Facultad de Ciencias fue la experiencia de las unidades asociadas, cuyo correlato actual parece ser la conformación de un área llamada Tecnología, Ciencias de la Naturaleza y el Hábitat, en la que participan seis facultades. ¿Cómo fue la experiencia de relacionamiento con otros centros durante su decanato?**

Es una cuestión que siempre ha estado presente; nuestra Universidad es bastante heterogénea, pero los vínculos más fluidos en nuestro caso siempre han sido con esas facultades, algo que se vio plasmado o formalizado en el período de Rodrigo Arocena con esta idea de agrupar a las facultades por áreas del conocimiento: la científico-tecnológica, el área social y el área médica. Se han hecho reagrupamientos un poco mayores. Cuando yo estaba en el decanato el área la integraban Arquitectura, Ingeniería, Ciencias y Química, éramos sólo cuatro; ahora se amplió con Agronomía y Veterinaria.

**Su decanato coincide con el primer gobierno de Tabaré Vázquez. ¿Cuáles eran los mayores desafíos en aquel momento?**

Era una época de muchas expectativas, sobre todo porque veníamos de una época muy mala, todo el período de la crisis de 2002

y sus consecuencias, con mucha gente que se había ido. Hay que recordar que dentro de esos flujos migratorios había muchas personas que tenían formación universitaria. Esa crisis pegó mucho entre gente que estaba terminando o había terminado su carrera; acá, en Ciencias, lo vivimos muy de cerca. Nosotros asumimos con la expectativa de que el nuevo gobierno podía llegar a ser una posibilidad de mayor apertura y de contar con mayores recursos para la enseñanza y para la investigación. En cierto sentido, se puede decir que eso lo vimos: en esa administración hubo avances, mejoró el presupuesto y uno de sus hitos fue la creación de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación [ANII] y del Sistema Nacional de Investigadores; todo ese proceso lo viví muy de cerca, porque coincide con los años en los que estuve como decano. Esas estructuras no existían y fueron muy importantes para darle mayor institucionalidad a la ciencia en Uruguay.

**Y ahora, mirándolo con cierta distancia, ¿piensa que la ANII y el Sistema Nacional de Investigadores cumplieron con las metas que se planteaban en aquellos años?**

Fueron un comienzo importante; si uno lo mira desde el presente, se puede decir que sirvieron como un punto de arranque. Y también podría decir que faltan muchas cosas por hacer, que son parte de los desafíos que tenemos hacia el futuro.

**¿Qué cosas mencionaría como las más importantes que falta hacer?**

En ese primer impulso, si uno lo mira de forma retrospectiva, los recursos que se asignaban eran más bien escasos; si bien constituían un avance en varios sentidos, también eran insuficientes en

muchos otros. No había becas, por ejemplo. En definitiva, era algo incipiente, faltaban muchas cosas para tener un sistema fuerte de ciencia y tecnología. Ahora la situación ha mejorado, creo que en el segundo gobierno del Frente Amplio, en la administración de José Mujica, hubo refuerzos presupuestales muy importantes. Esperemos que se mantenga esa línea.

**En estos momentos se habla del compromiso de alcanzar el 1% del PIB para inversiones en I+D. ¿En aquellos años a cuánto ascendía?**

Siempre ha estado oscilando en el entorno de 0,4% y 0,3% del PIB; esa ha sido siempre la cifra aproximada de inversión en I+D. Esa es la cifra actual, quizá en 2005 era hasta un poco menos, pero tampoco mucho menos. Es probable que en los años de la crisis, en 2001 y 2002, sí haya sido significativamente menor la inversión. Pero, en resumen, siempre ha estado lejos del 1% del PIB, o sea que estamos frente a un cambio importante.

**Otro debate pendiente, más allá de que triplicar la inversión sea importante, es cómo se gastan esos recursos.**

Ideas de cómo gastarlos siempre hay un millón. A veces, lo importante es definir con mucha claridad y certeza qué tenés que priorizar. Dejo en esto de lado mi área de trabajo; nosotros tenemos una plataforma continental en una superficie oceánica enorme y no tenemos un buen buque oceanográfico para hacer investigaciones marinas. Eso, para empezar, lo menciono apenas como un ejemplo: cualquier país más o menos serio, sin ni siquiera contar con un gran desarrollo, hoy tiene una embarcación de ese tipo. De igual forma se puede mencionar otro montón de cosas que se podría hacer. El problema, entonces, no pasa tanto por qué cosas podemos hacer, sino por qué cosas priorizamos, cuáles entendemos que son las más necesarias. Si nos dicen que tenemos 100 millones de dólares para investigar, seguro que aparece una montaña de propuestas; lo importante es determinar cuáles son las prioritarias.

Por otra parte, para que ese incremento del 1% tenga un impacto beneficioso hay que incrementar la cantidad de investigadores, que hoy ronda los 1.600 en el Sistema Nacional de Investigadores. Esto representa aproximadamente el uno por mil de la población económicamente activa; es una cifra baja: Argentina tiene el triple

y en Estados Unidos es nueve veces superior. Tampoco podemos pensar en contratar investigadores del extranjero, porque nuestros salarios no son atractivos, entonces la comunidad científica sólo podrá crecer con recursos formados en nuestro país o en el extranjero. Un número razonable sería llevar el número de investigadores a 3.000 en la próxima década, lo que permitiría atender el crecimiento de la Universidad de la República en Montevideo y particularmente en el interior. Para eso, la Universidad requiere un programa sólido de posgrados que refuerce y expanda otros programas en curso, como el Pedeciba [Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas]. La Universidad está empezando a desarrollar un programa de posgrados y su fortaleza estará indefectiblemente ligada a la generalización del régimen de dedicación total. No hay forma de contar con un programa serio de posgrados si los docentes viven del multiempleo y orientan sus tesis en ratos libres. Para tener un programa de posgrados sólido, es imprescindible profesionalizar la carrera docente.

**Una discusión recurrente es cómo se relaciona la academia, en particular la Facultad de Ciencias, con el mundo empresarial y con el desarrollo productivo. En algunos casos se habla de la poca audacia del sector empresarial al momento de invertir en I+D. ¿Cómo fue esa relación durante su decanato?**

En esos años tratamos de hacer distintas gestiones; es cierto que no es un tema para nada sencillo. Incluso en ese momento hablamos y llegamos a manejar la posibilidad de instalar un polo tecnológico acá mismo, en el predio de la Facultad. Hablamos con las autoridades de la Intendencia de Montevideo, para ver si era viable la idea. La verdad, fue algo que conversamos, pero nunca pudimos avanzar más allá de las expresiones de buena voluntad y de la buena disposición. Es un tema que generalmente tiene sus dificultades.

**¿Qué tipo de dificultades?**

En muchos casos, la falta de voluntad política también juega lo suyo, pero todos tenemos un poco de responsabilidad en que ese vínculo no se profundice y sea más fluido. También es cierto que a veces se nota un poco de timidez o falta de audacia. Nuestro sector industrial privado no se caracteriza por ser arriesgado,

salvo en algunos casos muy excepcionales, como las empresas que tienen dentro de sus misiones la de liderar procesos de innovación en determinados rubros o con determinados productos. Lo que hicieron, por ejemplo, los finlandeses con Nokia y toda la línea de teléfonos celulares es un modelo que puede tomarse como referencia: en un país chico, una empresa que apostó a convertirse en líder en su rubro. Al empresariado uruguayo le falta algo de ese empuje. Muchos prefieren apostar más a las cosas que ya se probaron en otros lados y funcionaron; si uno se la juega por cosas ya probadas y testeadas puede prescindir de la ciencia y de la tecnología, no tiene motivos para incluir esos rubros entre sus inversiones.

Lo que pasó con el proyecto del polo tecnológico es un ejemplo. Hay polos tecnológicos en muchas universidades; campus universitarios que tienen, a su vez, empresas asociadas que contratan a docentes y egresados de esa universidad como especialistas. Pienso que el sector privado uruguayo para incorporarse a un proyecto así todavía es muy débil, y quizá de nuestro lado todavía nos falte un poco de *know how* para concretarlo.

**Un diagnóstico posible es que el empresariado uruguayo carga con la mochila del modelo de la sustitución de importaciones, que tiende a generar modelos de empresarios más bien rentistas y no tan audaces.**

Es probable que eso haya tenido su peso, tiene su lógica. En una época no tan lejana, Uruguay producía muchas cosas, cubría un espectro muy variado, pero no había nada que uno pudiera encasillar como «producción original»; eran cosas que más bien repetíamos, innovaciones que venían desde otros países.

**¿En qué áreas de la producción actual es posible incorporar más I+D?**

En relación con las cosas que hacemos en nuestra Facultad, creo que el sector de la biotecnología es justamente uno de los que tienen mayor potencial; acá formamos biólogos y bioquímicos, es un área donde tenemos una gran capacidad para generar contactos y vínculos fluidos con el ámbito privado y empresarial, pensando en mejorar la inserción laboral de nuestros egresados. Esa es un área clave, con mucho potencial para el futuro.

En otros sectores, también de nuestra facultad, hay un desarrollo reciente que permite mirar esos procesos con entusiasmo; un ejemplo claro es lo que está pasando con los geólogos. Los geógrafos también están consiguiendo una buena inserción laboral; es un campo con mucho futuro porque para todo lo que tiene que ver con la planificación y el ordenamiento territorial se necesitan geógrafos. Creo que se están abriendo cada vez más nichos laborales para nuestros egresados, y eso es algo muy importante.

**¿Qué pasa con el actual marco institucional para el desarrollo científico uruguayo? ¿Es el correcto o hay que cambiarlo?**

Hay muchos detalles que desde que dejé el decanato naturalmente me he perdido, no estoy tan al tanto y conozco menos. Sí puedo decir, y es más bien una impresión personal, que las estructuras en el mundo académico tienden a burocratizarse demasiado rápidamente. Muchas veces la propia estructura, y la necesidad de obtener resultados, no permiten un desarrollo de creatividad. Corrés el riesgo de terminar siendo una oficina pública: uno hace determinadas cosas y termina en una rutina. El Estado tiene dificultades para crear organismos dinámicos.

Hay varios ejemplos de las dificultades que tenemos para llevar las cosas adelante. Hace muchísimos años que veníamos manejando la idea de que el país necesitaba un museo de Ciencia y Tecnología. Veíamos que el Museo Nacional de Historia Natural estaba en un lugar muy poco adecuado, que no podía sentar cabeza, y por eso empezamos las gestiones; aparentemente estaban todos de acuerdo en hacerlo, pero nunca logramos avanzar más. Hasta el día de hoy sigue en veremos; ahora se le cambió el nombre, es lo que conocemos como Museo del Tiempo, pero todavía sigue siendo un proyecto. O sea, es otro ejemplo de las dificultades que existen para hacer cosas, sobre todo aquellas que requieren inversiones importantes de dinero.

En otras iniciativas tuvimos mejor suerte; durante mi gestión intenté darle una cabida más institucional a las ciencias ambientales, que es un área fuerte y necesaria. Es importante no pensar exclusivamente en la ciencia y cómo contribuye a la productividad; también la ciencia es importante para prevenir riesgos ambientales y solucionar problemas en ese campo. Tuve la satisfacción de que eso terminó en la creación de un nuevo

instituto de Ciencias Ambientales en 2009; antes de eso la gente que trabajaba en temas ambientales estaba desparramada entre el Instituto de Biología, el Centro de Investigaciones Nucleares y Bioquímica.

### **¿Cómo fue la relación con el Pedeciba durante su gestión?**

La historia de la Facultad de Ciencias y la del Pedeciba, en algún punto, van de la mano, avanzando muy juntas. Después del restablecimiento democrático, que es un momento en el que no había nada, jugaron un papel muy importante tanto el Pedeciba como el Conicyt [Consejo Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología], que si bien había sido creado mucho antes, en los años 60, nunca tuvo los medios necesarios para desarrollarse. Como muchas de las cosas del Estado, estaba ahí prácticamente como un sello. Y el Pedeciba fue el primer instrumento en serio al que se dotó de recursos, allá por 1986. El Programa ha sido muy bueno, en paralelo a nuestro trabajo en la Facultad de Ciencias. Muchos de los cuadros que estaban en el Pedeciba estuvieron después en los orígenes de la Facultad, dejando de lado los investigadores de Química y de Informática, que son áreas con muy pocos o sin investigadores en Ciencias (están fundamentalmente en la Facultad de Química y en la de Ingeniería); los otros pasaron a ser la base del equipo docente de la Facultad de Ciencias, o sea que la relación siempre ha sido muy estrecha. ▣

# «La ciencia ayuda a pensar, a ser libres y a tener espíritu crítico»

JUAN CRISTINA FUE ELECTO DECANO EN 2010. CUATRO AÑOS DESPUÉS FUE RE-ELECTO PARA UN SEGUNDOMANDATO; SEGUIRÁ EN ESE CARGO HASTA JUNIO DE 2018. ES PROFESOR TITULAR DEL LABORATORIO DE VIROLOGÍA MOLECULAR DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES. ES INVESTIGADOR DEL PROGRAMA DE DESARROLLO DE LAS CIENCIAS BÁSICAS E INVESTIGADOR NIVEL III DEL SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGADORES. LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (FACULTAD DE CIENCIAS, UDELAR) Y PH.D. EN BIOLOGÍA (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID, ESPAÑA), HIZO ESTUDIOS POSDOCTORALES EN EL NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH DE ESTADOS UNIDOS. INTEGRA LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS DEL URUGUAY DESDE 2015.

## ¿Cuáles fueron los primeros desafíos cuando asumió?

El primero consistió en empezar a mover una facultad que, en algunos aspectos, estaba demasiado quieta. Sentíamos la necesidad de que la gente la conociera, que la ciudadanía uruguaya supiera que la ciencia en Uruguay existe y se pudiera apropiarse de ella. Y que además supiera que es una ciencia de calidad. Queríamos, y seguimos teniendo ese compromiso, que la gente entendiera por qué el Estado uruguayo invierte en tener una Facultad de Ciencias. En primer término, como lugar donde se forman los científicos, pero asumiendo que la ciencia también tiene una función cultural, que generalmente no es tan conocida. Por otra parte, queríamos continuar trabajando en base a una idea que nos legaron nuestros padres fundadores de la Facultad: el convencimiento de que el siglo XXI es el siglo de la sociedad del conocimiento y, por lo tanto, la producción de conocimiento está en la base de generar las tecnologías apropiadas y la innovación necesaria para generar los puestos de trabajo que van a necesitar los uruguayos en el siglo XXI. Ese fue un gran desafío:

abrir las puertas de la Facultad e intentar acompañarse a los cambios que en estos últimos tres períodos de gobierno se están produciendo, que son visibles, además de otros fenómenos globales, que también son muy importantes.

## ¿En qué áreas?

Las ciencias geológicas antes eran testimoniales, pero eso cambió notoriamente a partir de la expansión de las 350 millas de mar territorial, con todo lo que eso implica en materia de recursos. También pasó que Uruguay empezó a participar, con voz y voto, en decidir sobre el futuro de un continente entero, como es la Antártida; o la importancia que tiene el cambio climático en materia de impacto ambiental, y el desafío que eso implica para las ciencias de la atmósfera. También el desafío de insertar nuestros egresados en el campo de las nuevas tecnologías, como la física médica o la biotecnología, que han tenido un gran desarrollo reciente.

Otro punto importante del período anterior fue la relación con el sistema de enseñanza pública; asumimos una responsabilidad proactiva para contribuir a ese sistema, en un momento en el que la educación en Uruguay atraviesa dificultades significativas. Por ejemplo, iniciamos un vínculo muy fluido con la ANEP [Administración Nacional de Educación Pública], sobre todo con su Consejo de Formación en Educación, que permitió que hoy tengamos cuatro diplomados conjuntos con ANEP, específicamente para que profesores de enseñanza media puedan continuar sus estudios de posgrado en la Facultad de Ciencias. Ese ha sido un mensaje muy fuerte, de contribución y colaboración dentro del propio sistema. ¿Por qué lo hicimos? Porque no podemos caer en la tentación de lavarnos las manos





Juan Cristina [foto] UDELAR, S/D DE AUTOR

al considerar que los problemas de los jóvenes siempre son ajenos y quedarnos, como Universidad, solamente en la actitud quejosa por cómo llegan preparados los jóvenes que ingresan a la Facultad.

### **¿Cómo se llevó adelante ese proceso de relacionamiento con la ANEP? ¿Qué cosas están pendientes?**

Las instituciones, en primer término, las hace la gente. Creo que durante todo el gobierno del presidente José Mujica, con el que de algún modo coincide el período de mi primer decanato, encontramos una apertura a trabajar con nosotros que, probablemente, antes no estaba tan presente. Realmente encontramos una disposición total del anterior Consejo de Formación en Educación; sentimos que recibían a la Facultad de Ciencias con una enorme alegría, contrariamente a lo que se podía pensar de instituciones que cargan en la mochila algunas viejas disputas filosóficas de hace 50 años. Para nosotros fue un gran aprendizaje, porque estos diplomados no los diseñamos pensando en un camino que va en un solo sentido, sino

pensando en que nosotros teníamos que incorporar nociones, sobre todo en el campo de la pedagogía y de la didáctica. Fue un camino de ida y vuelta muy interesante. Eso es fundamental porque nosotros, aunque estamos hablando de gente adulta, somos responsables de los jóvenes; hoy los problemas mayores de la enseñanza universitaria están precisamente en los primeros años de las carreras.

### **¿Para el egresado de Ciencias es una opción interesante la de desempeñarse como ser docente de secundaria?**

No está planteado específicamente como una opción, pero es algo que sucede, claro. De hecho, debería suceder más, es un deber que tenemos. El censo de egresados establece que en el sistema de ANEP está inserto 4% de los egresados de la Facultad, en las materias de ciencias básicas: matemática, física y biología. Es un porcentaje muy bajo.

Me preguntaba recién por las cosas pendientes. Creo que esta es una de ellas, es importante plantearlo con mucha claridad: hoy los mayores problemas de la educación están entre los últimos años de la enseñanza secundaria y los primeros de la universidad; entonces, si no hacemos un buen tándem entre las instituciones involucradas en esa etapa, los principales afectados van a ser los propios muchachos. Estamos hablando de un tema fundamental.

En Uruguay, sólo 40% de la cohorte de jóvenes está en condiciones de ingresar a la Universidad, es decir, ha terminado su enseñanza secundaria. Ya ahí tengo 60% del universo con el que, desde la Facultad, ya no interactuamos, más allá de cosas puntuales, como el programa Compromiso Educativo, del Ministerio de Educación y Cultura. Hay que seguir profundizando ese vínculo con Secundaria, es algo clave; afortunadamente para el país, hemos avanzado. Esto de tener cuatro diplomados con ANEP es algo que no imaginábamos, y que demuestra que si realmente nos unimos mirando hacia el país del futuro, podemos hacer muchas cosas.

### **Volviendo a ese porcentaje tan bajo, de 4%, ¿el problema es que la demanda laboral en otros ámbitos es mejor o que es poco atractiva la propuesta salarial de la ANEP?**

Sin dudas, el componente salarial es un elemento que pesa. También sucede que muchos de nuestros colegas y egresados tienen una vocación distinta, que no necesariamente está relacionada con la docencia.

Esto que voy a decir tal vez no sea políticamente correcto, pero tengo la obligación moral de decirlo: muchas veces nos comparamos con países que tienen los mejores sistemas educativos del mundo, como los países nórdicos en general y en particular Finlandia; es importante tener en cuenta que allí muchos de los profesores y los maestros cursan parte de su formación a nivel universitario.

Esa interacción de la que hablábamos tendría que agudizarse. Los profesores de la Facultad de Ciencias perfectamente podrían contribuir a la formación de profesores de enseñanza media —en áreas como Matemática, por ejemplo—, de la misma manera que la ANEP tiene una rica historia acumulada en otras disciplinas que son de interés para nuestra Universidad, como la didáctica y la pedagogía. Las formaciones terciarias en el siglo XXI ya no son como en nuestra época, que eran como una especie de tubo: ahora las formaciones son itinerarios que uno hace y que va eligiendo, que van por distintos lados.

No reniego de nuestra formación, para nada: aquel sistema de educación pública me permitió ir a la escuela, acá cerca, porque soy del barrio: fui a la escuela en Solferino y Comercio. De esa escuela pública salimos nosotros, y lo que más deseamos es que los muchachos que estoy están en Solferino y Comercio algún día estén sentados acá, donde estoy ahora; hay muchas posibilidades para eso.

**Al hablar de los orígenes de la Facultad de Ciencias, se le da mucha importancia al papel que jugaron en ese momento las unidades asociadas. ¿Cuánto incidió en la impronta que tuvo después el centro?**

En el período pasado, durante el rectorado de Rodrigo Arocena, implementamos varios cambios importantes en el Consejo Directivo Central de la Universidad de la República; uno de ellos fue el funcionamiento por áreas. El área que integramos nosotros se llama Tecnología, Ciencias de la Naturaleza y el Hábitat, y la integran seis facultades. Cada 15 días nos juntamos los seis decanos de esta área científico-tecnológica (Ingeniería, Química, Ciencias, Arquitectura, Agronomía y Veterinaria); eso, de por sí, desdibuja bastante las charcas, que fue una parte importante de los objetivos que perseguían las unidades asociadas.

En la presentación de este Presupuesto, una de las cosas que hicimos dentro del área fue presentar programas transversales; antes funcionábamos más como compartimentos estancos, mientras que

ahora discutimos muchas cosas importantes entre este grupo de seis decanos. Por ejemplo, es un ámbito importante al momento de definir la compra de equipamiento científico; no es algo que pueda ser analizado solamente desde la perspectiva de una facultad, es importante discutirlo con todos los involucrados. También hay otros temas en común; en los últimos tres años estamos implementando una experiencia para que nosotros, en Ciencias, contemos con más herramientas para enseñar Matemáticas. Hemos hecho una experiencia de juntar en algunos cursos a estudiantes de Ingeniería, Química y Ciencias con profesores de todas las facultades; es un intercambio muy rico. Además tenemos la fortuna de contar con docentes jóvenes que son muy buenos; eso ayuda a llevar la cosa adelante. El área tiene una institucionalidad, es un avance muy importante; una vez al año están previstas reuniones más amplias, con representantes de docentes, egresados y estudiantes. Es un buen camino, es una forma de empezar a trabajar con otra lógica.

**Entiendo que eso implica un cambio institucional importante, pero si hay que hacer un ejercicio de prospección para los próximos 25 años, ¿qué otros cambios institucionales imagina?**

Creo que dentro de 25 años vamos a ver los frutos reales del proceso de descentralización que inició la Universidad; muchos ya se están viendo, pero es un cambio pensado en el mediano plazo. No se hace una universidad en dos días; si bien ya llevamos cuatro años de la experiencia de los centros regionales, su autonomía dentro de 25 años va a ser mucho mayor: va a generar nuevos conocimientos y formaciones cada vez más adecuadas a las necesidades de la región. Los imagino como centros cada vez más independientes de las decisiones que puedan adoptar las comisiones centrales, con sus órganos decisorios, sus políticas; en definitiva, construyendo su propia historia. No lo voy a ver, seguramente, pero espero que dentro de 25 años concretemos esa realidad y que la Universidad de la República sea realmente fiel a su nombre. Ese sería un paso importante.

**Y estrictamente en el caso de la Facultad de Ciencias, ¿cómo imagina que puede desarrollarse en el interior?**

Hoy tenemos una participación importante en la construcción de esas identidades regionales. En estos polos de desarrollo universitario participan muchos grupos de investigadores que seleccionamos

en Ciencias para proyectos concretos. Más de 50% de esos polos de desarrollo universitario son originarios de Ciencias en las tres regiones. Somos la facultad que aporta más docentes e investigadores al proceso de descentralización.

Eso tiene una proyección a largo plazo; creo sinceramente que el futuro del desarrollo científico y el futuro del país van muy unidos. A muchos puede parecerles que esto es como mirarse el ombligo, pero no es eso, es lo que pensamos: sin una academia científica sólida, es muy difícil construir una sociedad del conocimiento preparada para el siglo XXI. Lo que estoy diciendo no es ningún misterio, lo tengo claro desde mi formación en Estados Unidos. Los economistas dividen el mundo en tres categorías: los países que sólo producen algunas materias primas (Producto Interno Bruto —PIB— realmente bajo y sin posibilidades de crecer); los países que diferencian y especializan algún sector exportador con algunas mejoras (PIB mayor que el anterior pero que no le permite dar un salto cualitativo definitorio); y países que incorporan conocimiento (los mayores PIB que existen). En el siglo XXI, invertir en la incorporación de conocimiento resulta fundamental: ya no alcanza con tener materias primas o ser una plaza financiera. La principal misión que tiene la Facultad de Ciencias es dejarle a Uruguay los mejores científicos posibles para el siglo XXI, porque ese salto que necesita el país no se puede dar sin incorporar conocimiento. No hay misterios: los países más desarrollados llegaron a ese lugar incorporando conocimiento.

Hoy en el Sistema Nacional de Investigadores somos unas 1.500 personas; algo así como el dos por mil de la población económicamente activa. Los países desarrollados que incorporan conocimiento tienen el 2% de la población económicamente activa dedicado a tareas de investigación y desarrollo. Eso refleja todo lo que nos falta avanzar. Hoy la Facultad de Ciencias es un poco el motor de la academia: aporta el 22% del Sistema Nacional de Investigadores; mi expresión de deseo es que nuestros egresados empiecen a incorporarse más rápidamente a dicho sistema. Según nuestro censo de egresados, la inserción laboral en las empresas públicas más importantes, que son el motor de la economía, es menor a 10%; es muy complicado si nosotros no tomamos conciencia de la importancia de invertir en I+D [investigación y desarrollo], que es un poco lo que ha planteado el presidente Tabaré Vázquez. El Estado uruguayo actualmente invierte en I+D aproximadamente 0,35% del PIB; la meta

es llevarlo a 1% en este período. Eso debería significar la inserción en las empresas productivas; tenés científicos formados con la plasticidad necesaria para atender las demandas y los conocimientos que dan lugar a las innovaciones, que son los puestos de trabajo genuinos del siglo XXI. Hoy en la Facultad, entre los docentes por plantilla y los contratados por proyectos, somos unos 600, la idea no es tener una facultad con 2.000 cargos docentes, sino insertarnos mejor en las empresas públicas, que son generadoras demandantes de conocimiento especializado muy importantes, y también en el sector empresarial. El acercamiento entre la academia y el sector productivo tiene que poder catalizarse por intermedio del gobierno, con ventajas que permitan profundizar esa sinergia. Tampoco es que no exista, porque hoy en la Facultad tenemos unos 320 convenios con empresas públicas y privadas.

**Hace poco, Alberto Nieto decía que si bien el 1% del PIB constituía un avance importante, esos recursos no deberían utilizarse como se ha hecho hasta ahora, y pedía una autocrítica en cuanto a cómo se ha gastado en I+D. ¿Coincide con ese diagnóstico o con sus ideas de reformular el funcionamiento del Latu [Laboratorio Tecnológico del Uruguay] y la ANII [Agencia Nacional de Investigación e Innovación]?**

Sobre el Latu es mucho más difícil opinar. En cuanto a la ANII hay que tener en cuenta que lo más importante de un sistema de I+D no son los aparatos, lo más importante y costoso son los recursos humanos. Cada tanto salen en la prensa artículos de cuánto le cuesta al país formar a cada uno de sus científicos. La de Ciencias es una de las facultades más caras: es cierto que es una inversión cara, pero formar un científico es caro acá, en Alemania, en Estados Unidos, en Japón o en Rusia. Ahora, si me dan la responsabilidad de cumplir con el mandato del pueblo uruguayo de invertir en I+D, es el propio Estado el que no usa los recursos que se generan; va a haber otro Estado que no hizo la inversión y que sí los va a utilizar. Ahora Brasil ingresó en una etapa de crisis, pero hasta hace poco era una máquina. Hace poco, tuve la oportunidad de decírselo al presidente [Tabaré] Vázquez; él habló de la decisión política de llevar a 1% del PIB los recursos para I+D, y yo le decía que era importante que este esfuerzo que va a hacer nuestro presidente sea realmente redituable; yo creo que la inversión en recursos humanos sigue siendo

fundamental. Necesitamos programas que permitan que los jóvenes tengan posibilidades de insertarse y de empezar a hacer cosas, porque siempre las mayores dificultades las tienen los jóvenes.

### **¿Cuáles son las herramientas para medir si la inversión vale la pena?**

En la Facultad tenemos mecanismos para medir la calidad de lo que hacemos mediante indicadores internacionales: cuántas tesis, cuántos trabajos publicados. En la Facultad de Ciencias, específicamente, se producen unos 300 trabajos científicos por año, en 62 áreas de conocimiento. Hay una cantidad de índices que te pueden demostrar cuál es la calidad de lo producido. Quizá Alberto no se refería tanto a la calidad al momento de evaluar los recursos humanos, a cómo hacemos esa sinergia entre la academia y los empresarios. En ese sentido, es probable que sea necesario establecer sectores estratégicos y apostar fuertemente a estrechar los vínculos con ellos. Para un país pequeño, desarrollar sectores como la biotecnología es importante, pero para eso hay que hacer un esfuerzo muy grande, porque no hay tantas empresas en el país. Digo «biotecnología» porque es un sector que produce un montón de puestos de trabajo para la gente. Otro sector es el maderero; los países nórdicos se han desarrollado a partir de esa primera apuesta.

### **¿Esa sinergia entre la academia y los empresarios tienen que generarla los científicos o las políticas públicas?**

No podemos esperar que sean los científicos los que salen a buscar a los empresarios; se necesitan políticas proactivas desde el gobierno. No somos los científicos quienes estamos mejor preparados para eso; si no hay políticas gubernamentales más desarrolladas es muy difícil. Tampoco podemos decir que no se hizo nada: en el primer gobierno de Vázquez se creó la ANII, que implementó políticas para mejorar ese vínculo. El tema es que para bailar el tango se necesitan dos.

También hay otro aspecto, que se está viendo en la discusión del proyecto del Sistema Nacional de Competitividad. Obviamente, nosotros no estamos en contra de la competitividad, lo que sí creemos es que eso es parte del universo a contemplar dentro de todo lo que hacemos. Pero eso no puede ser todo. Hay una diferencia muy grande entre decir que vamos a hacer ciencia para la competitividad y decir que vamos a hacer ciencia para el desarrollo nacional.

### **¿Le parece que son dos modelos contrapuestos?**

Creo que esta discusión que se generó con el Sistema Nacional de Competitividad reflejó la existencia de dos enfoques o modelos con diferentes énfasis, aunque no estoy diciendo que sean contradictorios. No necesariamente. En I+D los recursos humanos juegan un rol fundamental; los países que logran el despegue lo hacen con recursos humanos preparados y con la convicción de que la ciencia y su enseñanza forman también parte de la cultura. Eso es algo muy importante.

### **Ahora la I+D tendrá el 1% del PIB. ¿Es posible determinar que con esa inversión dentro de 25 años vamos a estar en determinado lugar en materia de desarrollo? ¿Hay compromisos medibles?**

Desde el punto de vista de una facultad es muy difícil contestar esa pregunta. Se pueden medir las publicaciones, sin dudas; también, en temas de propiedad intelectual, la cantidad de patentes, que son una parte del tema. También hay temas en los que se depende mucho de las políticas de Estado, por eso muchos países tienen un ministerio de Ciencia y Tecnología. Las políticas de Estado siempre son importantes; hace 15 años, en Uruguay las ciencias geológicas eran testimoniales, pero ahora quedó claro que había que desarrollarlas porque hay temas para atender; lo mismo pasa con la calidad del agua, que involucra todo el estudio de las cuencas hídricas. Para todas esas cosas hay que generar conocimiento. Si voy a tratar el tema de las cuencas, porque la floración de cianobacterias y la calidad del agua son temas que vinieron para quedarse, voy a necesitar gente preparada en esos temas, en la evaluación del impacto ambiental. Volviendo a la pregunta, entonces, el impacto de estas inversiones se mide en cuanto a la generación de capacidades para atacar temas que son prioritarios para el Estado y para el país.

### **Desde su experiencia en el decanato, ¿cómo piensa que debería mejorar la relación entre la academia y el sector privado?**

Tengo la sensación de que cada nueva generación más joven que se incorpora al trabajo académico está más abierta a las interacciones con el sector empresarial. Es un fenómeno mundial, no es algo exclusivo del Uruguay. No es lo mismo la academia francesa de los años 60 que el funcionamiento que tiene hoy en Institut Pasteur, que incorporó la lógica privada notablemente. Capaz que en 1968 eso era imposible y hasta inaceptable para muchos.

El futuro de la Facultad va a depender de tener una academia sólida, como creo que la tiene, y de que los egresados jóvenes tengan mayores alternativas. En las dos vertientes: algunos se querrán dedicar a la vida académica, como muchos de nosotros, y otros optarán por insertarse en el sector productivo. Es probable que esta segunda vertiente empiece a ser paulatinamente una proporción cada vez más significativa. El tema es que tenemos que empezar a brindarles formaciones complementarias que permitan mayores oportunidades de inserción. De hecho, la Feria de Empleo que organizamos en la Facultad apunta un poco a tender o facilitar esos puentes con el mundo empresarial. Es muy bueno también tener cada vez más colegas, por ejemplo, en empresas como Antel o ANCAP, porque ellos terminan haciendo un *feedback* con la institución, que puede modernizarse por ese contacto con el trabajo real que están haciendo.

Ese ida y vuelta es importante. En la Facultad hacemos muchas cosas de las que no se habla tanto y que no se conocen. A nosotros muchas veces nos pasa que tenemos que dejar claro a qué nos dedicamos y qué se supone que estamos haciendo, mientras que en otras profesiones eso no pasa. Lo nuestro es conocer, nos dedicamos a conocer; en nuestra vocación, el gusto por hacer las cosas es muy importante, es el motor principal. Cuando a uno le preguntan por qué terminó estudiando los virus... Lo hacés porque te gusta, hay un componente vocacional muy fuerte.

### **En varias oportunidades ha subrayado que es importante entender la ciencia como parte de la cultura. ¿A qué se debe ese énfasis?**

Creo que es importante tener siempre presente cuál es nuestra función cultural, porque la ciencia te enseña a pensar, a fomentar el espíritu crítico, y eso está muy relacionado con la generación de ciudadanía. Por eso el apoyo que le damos al programa Clubes de Ciencia: a veces traemos a nuestros salones a más de 200 clubes. ¿En qué ayuda la ciencia a esos niños? Los ayuda a pensar, a ser libres y a tener espíritu crítico. Son todas cosas muy importantes para el desarrollo cultural de una sociedad democrática. Recuerdo un club de ciencia escolar que vino desde Unidad Casavalle. Ellos se habían puesto a pensar cómo mejorar el control del *Aedes aegypti* sin utilizar productos químicos, y tenían buenas ideas de cómo hacerlo; en algunas pudimos avanzar juntos. Yo creo que esas cosas valen mucho.

### **Recién hacía referencia al desafío de incorporar más egresados en el ámbito privado, que muchas veces maneja reglas diferentes de las de la academia, incluso al momento de medir el éxito. ¿Qué desafíos implica en materia de la transmisión de valores, de la ética que tiene que mantener un profesional de la ciencia?**

La única herramienta sigue siendo la educación. Por supuesto que el mundo cambió y sigue cambiando vertiginosamente. Yo doy clases en el primer semestre de la carrera y noto los cambios de una generación a otra. Hay que convencerse de que estamos viviendo un cambio civilizatorio. Yo tengo mis años, ya decidí que no quiero tener Facebook y otras herramientas, pero no puedo dejar de reconocer la realidad y el valor que tienen para estas generaciones. ¿Eso es malo en sí mismo? Claro que no, siempre va a depender de la forma en que utilizamos esas herramientas. Si todas esas cosas te llevan a ser poco proactivo, en un mundo que va a una velocidad en la que ya sabemos...

El mundo cambió; no es un juicio de valor, es una realidad. La vida media de una empresa en 1920 era de 67 años, pero en 2014 era de 15. En diez años, 40% de las primeras 500 empresas del S&P no estarán en el mercado. Se estima que para 2034 47% de los trabajos serán automatizados. Es para este mundo que debemos preparar a nuestros jóvenes científicos. Yo tengo que prepararme para el mundo como es, no para como me gustaría que fuera.

Ahora, la educación es mucho más que prepararnos para ese mundo. La educación no es neutra: nosotros como formadores transmitimos también un sistema de valores. Los docentes lo transmitimos en todo momento, siempre estamos reflexionando, en las aulas y en los laboratorios, sobre cuál es la ética profesional, qué es lo que hay que hacer y cómo se hace. Muchos de esos valores no cambian, son más permanentes que los cambios tecnológicos.

¿De dónde sale el compromiso social de un profesor? ¿De lo destacado que pueda ser en su disciplina o de las cosas que lo movilizan como ciudadano? No quiero hacer ninguna valoración. A cada generación le toca lo que le toca, las generaciones no son ni peores ni mejores. Soy parte de una generación muy militante y con compromiso social, pero tampoco me gusta escuchar —y lo escucho bastante— que hoy los jóvenes son descreídos y viven sin intereses. Eso no es verdad. Tienen otros intereses, intereses distintos. No es más que eso. ▣





# Las columnas de opinión que conmemoran nuestros 25 años

EN ABRIL de 2015, en el marco de las distintas iniciativas de reflexión y celebración de los 25 años de la Facultad de Ciencias, fuimos convocadas a coordinar un proyecto tan especial como desafiante: llegar a la opinión pública a través de la voz de sus docentes. Celebrar la diversidad de disciplinas y enfoques que se trabajan en nuestra facultad era la consigna. Dar a conocer la opinión de actores especializados en temas de interés general para la sociedad y de alto impacto para el desarrollo del país era la meta. Recordar la historia de la Facultad de Ciencias, celebrar su presente y proyectar su futuro fueron los ejes que inspiraron esta iniciativa, consustanciada en el relato de su quehacer en 25 columnas publicadas con frecuencia semanal en el periódico *la diaria* entre los meses de junio y noviembre de 2015 y hoy compiladas en esta publicación. En conjunto, estas 25 entregas independientes se convierten en una muestra, parcial pero representativa, de la contribución de la producción académica de la Facultad de Ciencias a la sociedad.

La convocatoria abierta que envió el Consejo de la Facultad de Ciencias a todos sus docentes grado 2 o superior a proponer ideas para las columnas resultó en excelentes aportes, lo que hizo muy difícil la selección de las 25 que conforman este compilado. Esta selección priorizó aquellas que se ajustaron mejor a los criterios establecidos en el llamado, que apuntaban a mostrar temas novedosos para la opinión pública, que reflejaran los aportes de la investigación científica a problemas de la sociedad y la vida cotidiana de las personas, la importancia de la ciencia para el desarrollo del país, la cultura y la educación. Con el fin de derribar algunos mitos que aún pueden permear la opinión pública,

el llamado hizo especial énfasis en aquellas propuestas que evidencian la ciencia de calidad que se desarrolla en Uruguay, competitiva a nivel internacional, en áreas extremadamente diversas del conocimiento y que muestran el compromiso ciudadano de los científicos en la búsqueda de soluciones a los problemas del país. También se apuntó a integrar visiones desde diferentes momentos de la carrera científica de los docentes involucrados, y por tanto reúne aportes de docentes jóvenes y veteranos, investigadores en formación y consolidados, así como líneas de investigación de larga tradición en la Facultad de Ciencias y líneas de desarrollo incipiente.

Vemos con orgullo la tarea realizada, aunque nuestro trabajo se limitó a la selección de los textos y coordinación de la gestión del proceso. Destacamos la unidad de la serie de 25 columnas, lograda mediante aportes individuales y diversos. Todas ellas integran un interesante conjunto de temas y visiones, en algunos casos contrapuestas pero coexistiendo en nuestro colectivo sin que ello resulte incompatible. Se imponen muchos agradecimientos: al decano Juan Cristina y al Consejo de la Facultad de Ciencias por confiarnos esta responsabilidad; a Lucas Silva, del periódico *la diaria*, por su profesionalismo y entusiasmo al guiar la producción de las columnas; a la Secretaría de Decanato y a los autores de las columnas por su involucramiento, entusiasmo y disposición para abordar sus temas de investigación en un estilo de divulgación e involucrando la visión personal, normalmente excluida de la lógica de la actividad científica.

Con la edición de las 25 columnas en este libro que corona las celebraciones de sus 25 años, la Facultad de Ciencias refuerza



el valor prioritario que le otorga a la divulgación científica. Consideramos fundamental dar a conocer la actividad científica, para erradicar la noción de que la ciencia se hace a puertas cerradas y para que el ciudadano pueda acercarse a la ciencia de calidad que se hace en Uruguay, donde se genera conocimiento propio en áreas relevantes para el país. Desde la interna de nuestra institución, esta oportunidad nos ha permitido exponer nuestras contribuciones en compromiso con la sociedad desde el privilegio vocacional de amar el trabajo que realizamos. Por otra parte, la tarea científica está financiada con fondos públicos, lo que necesariamente nos obliga a volcar a la sociedad lo que hacemos, no sólo para transmitir el conocimiento que se genera, sino también porque la ciudadanía debería poder apropiarse de ese conocimiento. Finalmente, es esencial dar a conocer las investigaciones que se realizan en la Facultad de Ciencias pensando en futuros estudiantes universitarios que encontrarán más viable y deseable este camino si se instala la convicción colectiva de que sí se puede hacer ciencia en un Uruguay que tiene menos científicos de los que necesita.

Ana Silva, Laboratorio de Neurociencias

Bettina Tassino, Sección Etología

Ana Vasquez, Decanato

# Facultad de Ciencias, los primeros 25 años

LA FACULTAD de Ciencias de la Universidad de la República cumple 25 años. Fue aquí, en 1990, que la expresión «hacer ciencia en el Uruguay» obtuvo un nuevo significado, y se forjó la visión de nuestros fundadores: insertar a Uruguay en el siglo XXI, o, lo que es lo mismo, en la sociedad del conocimiento.

Desde una tierra arrasada luego del período dictatorial, aquellos pioneros enfrentaron la titánica tarea de reconstruir, reinventar y a la vez proyectar una estructura científica nacional, en la que hacer ciencia de manera profesional —único camino hacia una academia nacional sólida— llevaría a un cambio, no solamente científico-técnico, sino también cultural. Este fermental período amalgamó la experiencia de docentes que retornaron del exterior con la de aquellos que permanecieron en el país, en un interesante crisol de miradas diversas que habilitaron que emergiera, entre otros grandes proyectos, el Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas que instaló la formación de posgrados y nuestra Facultad de Ciencias.

Una facultad nueva de la Universidad de la República en el Uruguay de los años 90 fue un enorme desafío, que intentó amortizar

una deuda histórica con el desarrollo científico-tecnológico del país. Esas características impusieron una pujanza y una frescura que perduran hasta hoy en la Facultad de Ciencias, centro de formación y generación de conocimiento nacional e internacional.

Hoy, 25 años después, la producción científica de nuestra Facultad de Ciencias, mediante publicaciones en revistas especializadas nacionales e internacionales, impacta en más de 60 áreas del conocimiento científico, que van desde la astronomía hasta la biología molecular. Esta diversidad en la generación de conocimiento proviene del trabajo de investigadores integrados a los institutos de Biología, Ecología y Ciencias Ambientales, Física, Ciencias Geológicas y Química Biológica, y a los centros de Matemática e Investigaciones Nucleares.

Por medio de nuestros docentes y egresados aportamos preponderantemente al área de ciencias naturales y exactas, que constituye casi 40% del Sistema Nacional de Investigadores, y participamos, además, en las áreas de ciencias médicas, agrícolas y sociales.

Además, nuestra tarea de investigación está íntimamente ligada a la tarea de

enseñanza: somos una institución educativa con más de 4.000 estudiantes de grado y posgrado, 400 docentes y 110 funcionarios. Más de 300 convenios nos unen con instituciones públicas y privadas de Uruguay y del resto del mundo. Unos 120 nuevos científicos se gradúan cada año en las más diversas disciplinas. Este feliz cumpleaños constituye una invaluable oportunidad de conmemorar y reafirmar nuestras respuestas y nuestros compromisos con el Uruguay del siglo XXI. Es nuestro Estado el que invierte en nosotros, y por consiguiente es importante que nuestra sociedad comprenda el valor de la ciencia y se apropie de ella.

El desarrollo sostenible de un país en este siglo depende y dependerá del desarrollo de conocimiento; ciencia significa exactamente eso (del latín *scire*, saber, conocer). No en vano los países desarrollados tienen 2% de la población económicamente activa dedicada a tareas de investigación y desarrollo (I+D). En nuestro país, considerando todo el Sistema Nacional de Investigadores, apenas se llega a cerca de dos por 1.000. Sin ciencia no hay tecnologías apropiadas, sin tecnologías apropiadas no hay innovación y no se crean nuevos empleos genuinos en la

sociedad de este siglo, ni se tendrá un desarrollo armónico y sustentable a largo plazo de las comunidades humanas. El mundo cambió, el siglo XXI no estará basado solamente en *commodities* o capitales, sino también en la capacidad científica y en derivaciones tecnológicas de esta. Antes nuestro mundo era lineal y local, hoy es exponencial y global. La vida media de una empresa en 1920 era de 67 años, hoy se calcula que 40% de las primeras empresas en el índice S&P 500 no estarán en el mercado dentro de diez años. Ese es nuestro mundo, para él debemos prepararnos. Por consiguiente, es imprescindible que contemos con una academia sólida si pensamos proyectar un desarrollo humano y digno para las futuras generaciones de uruguayos.

También está presente, desde la formidable visión de nuestros fundadores, hasta nosotros hoy, de modo implícito y explícito, el rol cultural y social de la ciencia. La ciencia nos enseña a conocer, a pensar, a tener espíritu crítico. Por consiguiente, también es parte de la educación de nuestros ciudadanos y contribuye a la construcción de valores. La ciencia es parte de la cultura de un pueblo. Estos primeros 25 años de desarrollo de la

Facultad de Ciencias también significan, en tal sentido, para nuestra Universidad y para nuestro país, un logro singular y sustantivo. Conservarlo y aumentarlo es tarea de todos.

Lo más valioso del sistema de I+D de un país son sus recursos humanos. La inversión en la formación de nuestros jóvenes científicos es significativa, y es nuestro Estado el que permite realizarla. Sin embargo, si nuestro Estado no utiliza en forma eficiente la inversión que realiza, otro Estado, que no ha hecho esa inversión, será el que finalmente la usufructúe. Estos jóvenes 25 años representan la renovación de nuestros compromisos con la construcción del futuro Uruguay. La institucionalidad que la ciencia tenga en nuestro país y la apropiación que nuestros compatriotas hagan de ella determinará los futuros éxitos.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer muy especialmente a *la diaria*. Ésta es la primera de 25 columnas conmemorativas de los 25 años de la Facultad de Ciencias, en las que numerosos colegas, compañeros docentes de la Facultad de Ciencias de diferentes generaciones y áreas, compartirán sus visiones sobre temas de interés nacional y sobre el papel que la

ciencia y los científicos juegan en su desarrollo. Estoy seguro de que esta colección representará un fiel retrato del presente de nuestra Facultad, así como una aproximación a su historia y a la proyección del rol que pretende en la sociedad del futuro. ▣

JUAN CRISTINA es decano de la Facultad de Ciencias desde 2010 y profesor titular del Laboratorio de Virología Molecular del Centro de Investigaciones Nucleares. Es investigador del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, e investigador Nivel III del Sistema Nacional de Investigadores. Licenciado en Ciencias Biológicas (Facultad de Ciencias, Universidad de la República) y Ph.D. en Biología (Universidad Autónoma de Madrid, España), hizo estudios posdoctorales en el National Institute of Health de Estados Unidos. Integra la Academia Nacional de Ciencias del Uruguay desde 2015.

# Antártida: terreno fértil para el desarrollo de la biotecnología

LA ANTÁRTIDA es el continente más remoto por su ubicación geográfica, y también un ambiente hostil para el ser humano. La temperatura más baja detectada allí fue 93°C bajo cero en 2010, en unos bolsillos de aire entre dos cumbres, sobre la capa de hielo conocida como Meseta Antártica del Este. Precisamente por eso, aunque su área de 13.720.000 km<sup>2</sup> es mayor que la de Europa (10.180.000 km<sup>2</sup>) y la de Oceanía (9.008.500 km<sup>2</sup>), su densidad poblacional es mucho menor. Se calcula que allí viven 1.100 personas durante el invierno, y cerca de 4.400 de octubre a febrero.

La Antártida es un lugar de paz y nos pertenece a todos. Cualquier actividad que allí se realice está regida desde 1959 por el Tratado Antártico (<http://www.ats.aq/s/ats.htm>). Nuestro país forma parte del grupo de 29 miembros consultivos del tratado desde 1980.

Han pasado 30 años de la fundación de la Base Científica Antártica Artigas, ubicada en la isla Rey Jorge, archipiélago Shetland del Sur, que tiene como objetivo la investigación científica. El Instituto Antártico Uruguayo, dependiente del Ministerio de Defensa Nacional, es el organismo

nacional responsable de programar las actividades científicas y proveer la logística necesaria para su desarrollo.

A pesar de las condiciones hostiles para la vida, el aislamiento, la baja población humana y la reducida presencia de animales y plantas, en el continente antártico existe una enorme diversidad de microorganismos capaces de sobrevivir y reproducirse a bajas temperaturas. Nuestro equipo de investigación, de la Sección Bioquímica y Biología Molecular de la Facultad de Ciencias, se dedica al estudio de esos microorganismos, especialmente de su material genético y su potencial uso biotecnológico.

Estamos acostumbrados a pensar en los microorganismos como seres vivos perjudiciales, porque muchos son patógenos para seres humanos, otros animales o vegetales, pero en realidad la gran mayoría son neutros o beneficiosos para la vida y la salud de los ecosistemas. Hay bacterias capaces de promover el crecimiento de las plantas, o de fermentar alimentos que así se transforman en otros más fácilmente digeribles. También colonizan nuestra piel o nuestro intestino (microflora intestinal) y

nos ayudan a la absorción de nutrientes y la síntesis de vitaminas. Estos microorganismos crecen óptimamente en el entorno de los 35°C; pero las bacterias antárticas tienen temperaturas óptimas de crecimiento de 18 a 20°C (sicrotolerantes), de 8 a 10°C (sicrofílicas), e incluso menores. Tales bacterias, a su vez, producen enzimas capaces de funcionar a esas bajas temperaturas. Las enzimas son proteínas que aceleran las reacciones químicas en el metabolismo de los seres vivos, y pueden ser de interés para aplicarlas a procesos industriales o productos comercializables. La posibilidad de obtener enzimas activas a bajas temperaturas es relevante porque podrían usarse para el desarrollo de productos con aplicaciones directas y alto valor agregado.

Nuestra estrategia de trabajo consiste en reconocer y aislar bacterias capaces de producir las enzimas de interés y purificarlas. El ADN (ácido desoxirribonucleico) que codifica la producción de estas enzimas se puede copiar y replicar para obtenerlas en condiciones de laboratorio, mediante la tecnología de ADN recombinante. Esta tecnología consiste en tomar una porción de una molécula de ADN de

un microorganismo e introducirla en un microorganismo diferente, para producir en él una modificación genética. Tal modificación permite que el segundo microorganismo manifieste un nuevo rasgo: la producción de una molécula que no producía antes. A la nueva molécula se le llama proteína recombinante. La técnica habilita la producción en mayor escala de una proteína, en nuestro caso de interés: una enzima.

Por ejemplo, las proteasas son enzimas capaces de degradar proteínas y por lo tanto se pueden utilizar para: a) la coagulación de la leche y formación de la «cuajada» en la elaboración de quesos a temperaturas menores que las utilizadas normalmente; b) el tiernizado de las carnes, proceso que a bajas temperaturas minimiza la actividad de los microorganismos mesófilos que pudren la carne; c) la producción de detergentes que sean efectivos a bajas temperaturas y que por tanto permitan lavar ropa con agua fría, con la consiguiente reducción en el gasto de energía.

Otro aspecto de gran interés es el uso de las enzimas celulasas y agarasas para la degradación de la celulosa de los residuos vegetales y del agar de las algas, lo cual produce la liberación de azúcares que luego pueden fermentarse para la producción de bioetanol. El etanol de celulosa se conoce con el nombre de «oro verde». Algunos microorganismos antárticos producen celulasas que actúan en forma muy eficiente a las temperaturas a las cuales se realiza la fermentación alcohólica. En este sentido, nuestro grupo de trabajo intenta contribuir en la búsqueda de celulasas y agarasas activas a bajas temperaturas para

el desarrollo de protocolos de sacarificación (producción de azúcares fermentables) y fermentación que requieran menor gasto de tiempo y energía para la producción de biocombustibles.

Finalmente, hemos iniciado una nueva línea de trabajo con el objetivo de producir la enzima fotoliasa, que repara el daño al ADN causado por la exposición a la radiación ultravioleta (UV) del sol. La capa de ozono presente en nuestra atmósfera nos protege de esta radiación dañina, y es conocido que en la zona antártica se encuentra muy reducida. Por este motivo se espera que los microorganismos presentes en la Antártida, sometidos a una alta irradiación UV, hayan desarrollado una enzima fotoliasa muy activa para la reparación del daño al ADN. Varias cremas protectoras solares, además de contar con bloqueadores UV, incorporan la fotoliasa. Aparte de la conveniencia de no tomar sol fuera de los horarios recomendados, el uso de este tipo de productos cosméticos disminuiría la posibilidad de formación de cáncer de piel, relacionado con la exposición de la piel al sol, y el fotoenvejecimiento.

El continente antártico se presenta como un sitio de singular belleza y uno de los lugares más prístinos del mundo, además de ofrecer un enorme potencial para el desarrollo de la ciencia en Uruguay. El interés que ofrece la investigación científica en un ambiente con condiciones tan extremas para la vida ha llevado a que la Facultad de Ciencias identifique la investigación antártica como un área prioritaria, con oportunidades excepcionales para la formación de jóvenes científicos

uruguayos, y el trabajo que se realiza en la Sección Bioquímica y Biología Molecular de la Facultad constituye una parte de esa investigación. ▣

SUSANA CASTRO es profesora adjunta de la Sección Bioquímica y Biología Molecular de la Facultad de Ciencias, es química farmacéutica (Facultad de Química, Universidad de la República) y doctora en Química (Pediciba Química y Facultad de Química). Realizó su posdoctorado en la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Es investigadora del Pedeciba Química y Pedeciba Biología e integra el Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. Sus investigaciones se focalizan en bioquímica y biología molecular de microorganismos de interés tecnológico, con énfasis en el desarrollo de productos biotecnológicos.

# Servicios climáticos para Uruguay: necesarios y posibles

LA AUSENCIA de lluvias significativas en los últimos meses ha llevado al gobierno a declarar un «estado de emergencia agropecuaria» para los departamentos del este del país, los más afectados por la sequía. No se trata de un hecho aislado; es consecuencia de la gran variabilidad climática de nuestro país, donde los desastres naturales están siempre relacionados con el clima. ¿Es posible predecir estos eventos e informar a tiempo para tomar las medidas adecuadas y mitigar sus efectos?

Por ejemplo, ¿cuál es la probabilidad de que la próxima primavera sea más seca que lo normal? Responder este tipo de preguntas es el objetivo de la predicción climática estacional, o sea la determinación de cambios en la estadística trimestral de determinada variable meteorológica. Se diferencia del pronóstico del tiempo en que este apunta a predecir el estado de la atmósfera en los días inmediatos, por ejemplo la temperatura máxima para las próximas 48 horas.

El ejemplo anterior muestra que la información climática resulta estratégica y debe ser precisa, honesta y comunicada a tiempo para la toma de decisiones. Algunas estimaciones establecen que cerca de 70% de la

economía de nuestro país depende en forma directa o indirecta del clima. Sectores como el agropecuario y la producción energética son muy sensibles, mientras que otros como la salud y la actividad turística también son afectados, pero en menor medida, por los vaivenes del clima.

La clave para la predicción climática está en la influencia de los océanos en la circulación atmosférica. Mientras que la atmósfera está caracterizada por una evolución muy rápida, los cambios en un océano son mucho más lentos. Dado que en algunos casos la evolución oceánica puede predecirse con una antelación de seis a nueve meses, es posible realizar predicciones climáticas de lluvias y temperatura en forma anticipada. El fenómeno llamado El Niño, un calentamiento inusual del océano Pacífico ecuatorial, tiene una duración aproximada de un año y es la base sobre la cual se construyen las predicciones climáticas trimestrales actuales, debido a su capacidad de alterar la circulación atmosférica a miles de kilómetros de distancia. De hecho, fue la ocurrencia de un fenómeno El Niño muy intenso en 1982-1983, lo que generó anomalías climáticas a nivel global, con costos enormes en

las economías, y aceleró el desarrollo de los estudios climáticos. De igual forma, perturbaciones en los océanos Índico y Atlántico también pueden inducir anomalías atmosféricas en regiones muy distantes de ellas.

Debido a esta posibilidad, la comunidad internacional ha comenzado a sentar las bases para los servicios climáticos, que incluyen la producción, traducción, transferencia y uso de conocimiento del clima en el proceso de toma de decisiones y desarrollo de políticas. Para eso se necesita investigación básica y aplicada en clima, así como estudios sobre vulnerabilidad social y comunicación de la información. Estos temas forman una red de conocimientos, un entramado que debe ser hilado muy cuidadosamente para mejorar la información climática a brindar.

Nuestro país está fuertemente influenciado por El Niño, y si bien eso muchas veces es considerado una amenaza o un riesgo, también implica una oportunidad para planificar actividades en los diferentes sectores en función de las anomalías climáticas previstas. El territorio uruguayo es una de las regiones donde es posible proveer información climática útil para la toma de decisiones.

La meteorología en Uruguay es una ciencia incipiente, con un rezago internacional evidente, pero en los últimos años ha mostrado un crecimiento importante debido a la formación de universitarios en la disciplina. Con el retorno de la democracia, de 1987 a 1996 estuvo abierta la Licenciatura en Ciencias Meteorológicas en la Facultad de Ciencias, de la que egresaron las dos primeras licenciadas del país. Posteriormente, en 2005, el famoso temporal del 23 de agosto actuó como disparador a nivel político y ayudó a catalizar iniciativas universitarias que se venían desarrollando para abrir una nueva carrera. Es así que en 2007 se estrenó la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera, que llevan adelante las facultades de Ciencias e Ingeniería y que ya cuenta con sus primeros egresados.

Junto a la actividad de enseñanza, en los últimos años ha despegado la de investigación, vital para un buen desarrollo de la disciplina. En ese sentido, el Departamento de Ciencias de la Atmósfera apunta a colaborar en el desarrollo de los servicios climáticos mediante líneas de investigación relevantes para el país y una sólida base científica. Esas líneas de investigación del grupo,

actualmente formado por una decena de personas, incluyen la comprensión de los procesos físicos que aumentan la predictibilidad del clima de Uruguay, en escalas que van desde la trimestral a varias décadas, así como la descripción y clasificación climática de los eventos extremos de temperatura y precipitación. El Departamento ha llevado adelante y participado en numerosos proyectos de investigación nacionales e internacionales, ha actuado como asesor en convenios con el sector productivo y colabora con el Instituto Uruguayo de Meteorología en el Grupo de Trabajo de Tendencias Climáticas, que provee mensualmente predicciones trimestrales de temperatura y precipitaciones. Más información sobre el Departamento se puede encontrar en [meteo.fisica.edu.uy](http://meteo.fisica.edu.uy).

La demanda de servicios climáticos en Uruguay es cada vez más acentuada y existen iniciativas a nivel gubernamental que intentan darle respuesta, como por ejemplo la creación de un Sistema Nacional de Información Agropecuaria. No obstante, aún queda un largo camino por recorrer para contar con servicios climáticos funcionales para el país. En ese camino es fundamental que las iniciativas incluyan vínculos

con la Universidad de la República, ya que allí se lleva a cabo la investigación en ciencias de la atmósfera. Además, es crucial continuar con los esfuerzos para la formación de recursos humanos de alto nivel, así como la inversión en infraestructura. Uruguay tiene la necesidad y la posibilidad de proveer información climática útil para la toma de decisiones, y está en nuestras manos desarrollar y utilizar esta potencialidad de la mejor manera. ▣

Los autores integran el Departamento de Ciencias de la Atmósfera del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias.

MADELEINE RENOM es profesora adjunta, investigadora Grado 3 del Pedeciba y Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Es licenciada en Ciencias Meteorológicas (Universidad de la República) y realizó su doctorado en Ciencias de la Atmósfera en la Universidad de Buenos Aires. Investiga sobre eventos climáticos extremos y cambio climático.

MARCELO BARREIRO es profesor titular, investigador Grado 5 del Pedeciba y Nivel II del SNI. Es licenciado en Física (Udelar) con un doctorado en Oceanografía (Universidad Texas A&M, Estados Unidos). Su línea de investigación es el estudio de la variabilidad y predictibilidad climática.

# Investigación científica y petróleo en Uruguay

DURANTE LA ÚLTIMA década se ha reactivado en Uruguay la exploración petrolera impulsada por ANCAP, después de casi 30 años de inactividad. Dicha reactivación se debe a cambios en los modelos geológicos conceptuales y exploratorios, así como a una nueva realidad energética mundial y regional. Existen en el país cinco cuencas sedimentarias que pueden albergar petróleo: tres en tierra u *onshore* (cuencas Norte, Santa Lucía y Laguna Merín) y dos en el mar u *offshore* (cuencas Punta del Este y Pelotas). Todas son consideradas por la industria «cuencas de frontera exploratoria»; es decir, de alto riesgo, ya que aún no ha habido en ellas descubrimiento de hidrocarburos.

Diversos elementos y procesos geológicos, agrupados en el concepto de «sistema petrolero», son requeridos para lograr una acumulación de petróleo y/o gas en una cuenca sedimentaria. Para empezar, debe existir una roca generadora, típicamente una roca sedimentaria de grano fino, llamada lutita, con una cantidad y calidad apropiadas de materia orgánica, producto de la acumulación de restos de seres vivos. Adicionalmente, esa roca debe haber

alcanzado condiciones de «madurez» debido al enterramiento progresivo bajo el peso de otras rocas, lo cual resulta en un aumento de presión y temperatura que transforma la materia orgánica, generando petróleo y gas.

En acumulaciones convencionales, el hidrocarburo generado migra hasta alcanzar una roca porosa y permeable, tal como una arenisca o caliza, que actúa como reservorio. En otros casos, el hidrocarburo está alojado en yacimientos no convencionales, como las propias lutitas, areniscas compactadas, capas de carbón, hidratos de gas, etcétera. Estas acumulaciones no convencionales tienen mayor extensión que las convencionales, pero es más costoso explotarlas y se requieren técnicas específicas para estimular su producción, como por ejemplo el fracturamiento hidráulico (*fracking*).

Hay antecedentes de actividades de exploración en algunas de las cuencas sedimentarias de nuestro país. Las cuencas Norte y Santa Lucía fueron históricamente exploradas durante la segunda mitad del siglo pasado, y la primera de ellas es de las cuencas *onshore* la que presenta el mayor potencial de contener acumulaciones de

hidrocarburos. En la cuenca Norte existen varias rocas potencialmente generadoras, como la Formación Cordobés (del período Devónico, con 400 millones de años) y la Formación Mangrullo (del Pérmico, con 270 millones de años).

La Formación Mangrullo tiene altos valores de materia orgánica de excelente calidad, pero está inmadura por falta de enterramiento progresivo. De todas formas, las rocas de esta formación constituyen el único combustible fósil probado en Uruguay, que no tiene nombre específico y se conoce erróneamente bajo el nombre de esquistos bituminosos. Tal combustible puede quemarse directamente como si fuera un carbón de bajísima calidad, o bien extraerse de él aceite sintético por calentamiento (en un proceso denominado pirólisis). La Formación Cordobés posee menor cantidad y calidad de materia orgánica, pero en algunas zonas profundas de la cuenca podría haber sufrido un soterramiento suficiente como para generar hidrocarburos. El trabajo de investigación al respecto se centra en determinar si existió o no generación y migración de hidrocarburos, y dónde se habrían entrampado.



Las cuencas *offshore*, las de mayor potencial en el país, fueron históricamente subexploradas, con sólo dos pozos exploratorios en un área de más de 120.000 km<sup>2</sup>; que fueron perforados en 1976 con un objetivo diferente del que se busca en el presente. Tales cuencas son de un gran espesor, que alcanza los ocho kilómetros. Eso, sumado a la probable presencia de rocas generadoras de distintos tipos, hace plausible que en ciertas zonas se hayan generado y expulsado hidrocarburos.

Las empresas que trabajan *offshore* han realizado un importante trabajo exploratorio en los últimos años. Como resultado de este, Uruguay cuenta hoy con un gran volumen de datos de sísmica 3D (que se suman a los de sísmica 2D disponibles anteriormente), electromagnetismo y muestras de fondo marino. La empresa francesa Total tiene previsto realizar en pocos meses un pozo a más de 2.500 metros de profundidad, que aportará información muy valiosa sobre el potencial hidrocarburífero de las cuencas *offshore*. La investigación en estas cuencas se centra en entender la evolución del margen continental, la identificación de los sistemas petroleros y los modelos de acumulación de los hidrocarburos.

Si bien hoy en día se lleva a cabo la mayor actividad exploratoria de hidrocarburos en la historia en el país, tanto en tierra como en mar, aún falta mucho trabajo para determinar el potencial de hallazgo y explotación de petróleo. Idealmente, todo trabajo de exploración debería culminar con la realización de una perforación exploratoria, la cual implica previamente realizar un trabajo de adquisición de datos y

de interpretación, y un análisis cuidadoso y riguroso de estos, etapa en la que nos encontramos actualmente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que esta culminación no es siempre exitosa, ya que estadísticamente, a nivel mundial, sólo tres de cada diez pozos exploratorios que se perforan resultan en un descubrimiento.

En lo referido a esta exploración y a la posibilidad de hallar petróleo, Uruguay se enfrenta a diversos desafíos, entre ellos los relacionados con la institucionalidad y regulación específica del sector, la formación de recursos humanos calificados, el desarrollo de infraestructura y de servicios locales de calidad, y la evaluación del impacto sobre otras actividades. Particularmente, la Facultad de Ciencias debe asumir un papel preponderante en la formación de científicos y en la consolidación de una fuerte línea de investigación en esta área.

Ya se han incluido tópicos sobre geoquímica orgánica, perforación y registros de pozo en cursos de la Licenciatura en Geología, y también se han incorporado asignaturas específicas como Geología del Petróleo y Estratigrafía de Secuencias. Además, está en proceso de consolidación un grupo de investigación que trabaja en proyectos científicos sobre la caracterización geoquímica de rocas generadoras del Devónico y el Pérmico en la cuenca Norte, la identificación de sistemas petroleros y la descripción de nuevos modelos conceptuales de entrapamiento de hidrocarburos, entre otros. Es de esperar que el capital humano y el conocimiento generado en la materia se constituyan en un eje de retroalimentación permanente con las

instituciones que eventualmente intervengan en el proceso, entre ellas ANCAP y las compañías petroleras internacionales. ▣

MATÍAS SOTO es asistente del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias. Realizó estudios de grado (Universidad de la República) y de maestría (Peduciba) en Ciencias Biológicas y en Geociencias. Integra el Sistema Nacional de Investigadores y trabaja como geólogo en ANCAP. MORALES es profesora adjunta de Geología en el Área de Recursos Energéticos en la Facultad de Ciencias e investigadora Grado 3 del Peduciba. Es licenciada en Geología (Udelar) y doctora en Geociencias y Medio Ambiente (Unesp, Brasil). Entre 2010 y 2014 se desempeñó como jefa de Geociencias en la Gerencia de Exploración y Producción de ANCAP.

# Potenciando a la vez ciencia y desarrollo

AYER. Recuerdo como si fuera hoy la fiesta, allá en noviembre de 1990, por la creación de la Facultad de Ciencias. Contagiado por la alegría estudiantil, mi nota periodística sobre el acontecimiento se tituló «La Facultad llegó en primavera». Festejábamos entonces un gran mojón en el proceso de reconstrucción de la investigación nacional. Al mirar hacia atrás, lo primero debe ser evocar la labor sacrificada de quienes mantuvieron encendida la llama de la creación científica en tiempos de la dictadura. Después, con la reconquista de la democracia y el protagonismo de la comunidad académica, se fue desplegando un esfuerzo grande para superar el enorme atraso acumulado. En esa tarea, la contribución de nuestra Facultad es reconocida. La sintetizó nuestro decano Juan Cristina en la primera columna de esta serie que debemos a la hospitalidad de *la diaria*. Ese aporte se ha sumado a varios otros para dotar al país de una estructura de investigación seria y moderna. Esta tiene debilidades y carencias, incluso en comparación con la región. Pero es innegable su crecimiento cuantitativo y cualitativo, que se refleja en el número de investigadores, en la

consolidación de grupos de investigación, en la formación de posgrado ligada a la creación, en la generación de conocimiento de primer nivel.

Pero todo eso es ya el ayer. Hoy tenemos dos grandes problemas por delante: uno es cómo pasar a un nivel superior en la capacidad científica nacional, otro es cómo hacer de la ciencia una palanca fundamental del desarrollo. Ninguno de esos problemas se puede resolver sin solucionar también el otro.

*Desarrollo.* Durante la última década, Uruguay ha expandido la producción, mejorado las condiciones de vida, disminuido la pobreza y la miseria, atenuado la desigualdad. Todo eso es parte de lo que corresponde llamar desarrollo. Algunas dificultades se han agudizado y, en cualquier caso, falta mucho; pero siempre faltará bastante. La cuestión central de la hora es más bien otra: ese proceso de mejoras difícilmente se afianzará, y hasta puede llegar a revertirse, si no logramos basar el desarrollo en la masiva incorporación de conocimiento avanzado y gente altamente calificada al conjunto de las actividades socialmente valiosas. La afirmación puede sustentarse tanto en el análisis

de la problemática nacional como en el estudio de la experiencia internacional.

Si el país ingresa en una senda de desarrollo basada en el conocimiento, aprovechará toda su capacidad de investigación científica y tecnológica, y tendrá que expandirla, multiplicando los recursos que le asigna y afinando sus políticas relacionadas con ella. Si no ingresamos en una senda de ese tipo, la experiencia propia y ajena indica que la ciencia uruguaya, en el mejor de los casos y con grandes sacrificios, avanzará a los tropezones, huérfana de apoyos sociales y gubernamentales de largo aliento.

## INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

La labor científica es una manifestación notable de la creación cultural y un factor de progreso social. Por ejemplo, las ciencias de la vida y de la salud han contribuido sustancialmente a que, si hacia 1800 la esperanza de vida al nacer era de unos 30 años, hoy en el promedio mundial supera los 65, y es bastante mayor en los países que han hecho avances significativos por los caminos del desarrollo integral. Pero la ciencia no garantiza el progreso social, y hasta puede perjudicarlo, como lo evidencia la investigación

con fines bélicos. No se puede perder de vista una verdad elemental pero nada trivial: hay que generar conocimiento de alto nivel y también hay que usarlo en forma eficiente y con fines éticamente válidos.

Generar el conocimiento no garantiza su uso; usar conocimiento de manera rutinaria, sin capacidades para resolver problemas de nuevas maneras, es cada vez más ineficiente. La innovación es la incorporación de lo nuevo a las prácticas colectivas. La innovación en el conjunto de la producción de bienes y servicios se basa cada vez más en el conocimiento avanzado. Por eso tiene que estar directamente vinculada con la generación de dicho conocimiento —vale decir, con la investigación— y con la gente que conoce sus alcances por haber contribuido a crearlo, el conjunto de los investigadores.

Ojalá Uruguay no cometa el error garrafal —a contramano de las mejores prácticas internacionales y de los estudios científicos en la materia— de separar investigación e innovación. Para quienes quieren contribuir a la competitividad auténtica de la economía nacional, ello sería como pegarse un tiro en el pie. Más en general, supondría poner una gran trampa en el camino al desarrollo.

¿Tiene Uruguay potencial de investigación para impulsar la innovación? Una de las elocuentes respuestas afirmativas la ofrecen diversas columnas de esta serie motivada por los 25 años de la Facultad de Ciencias. ¿Puede Uruguay vincular investigación e innovación? Ya lo está haciendo. La larga lista de posibles ejemplos incluye la colaboración sistemática en esa dirección de ciertas empresas públicas y la Udelar, así como el programa universitario de investigación e innovación orientadas a la inclusión social. Es viable multiplicar los casos que combinan la generación de conocimientos de alto nivel con su utilización, también de alto nivel, para el desarrollo productivo y social.

*Mañana.* Quienes escriban en 2040 sobre los primeros 50 años de la Facultad de Ciencias describirán una labor de enseñanza, investigación y extensión mucho más relevante incluso que la realizada en el cuarto de siglo que ahora culmina. Darán cuenta de la formación, a nivel de grado y posgrado, de muchos miles de personas que estudiaron en ambientes creativos y, por lo tanto, están preparadas para resolver problemas nuevos, investigando e innovando.

Informarán acerca de la creciente inserción laboral de los egresados de la Facultad en las más distintas actividades sociales. Divulgarán las cada vez más diversas contribuciones de los investigadores de la institución a la creación cultural y a la comprensión de la naturaleza. Registrarán las instancias de colaboración de equipos de la Facultad con los más variados actores sociales e institucionales, para poner el conocimiento al servicio de la mejora de la calidad de vida de la gente, particularmente la más postergada.

En suma, narrarán un capítulo central de la historia de cómo en Uruguay avanzaron juntos la ciencia nacional y el desarrollo integral del país. ▣

RODRIGO AROCENA es profesor titular de la Unidad de Ciencia y Desarrollo de la Facultad de Ciencias y hasta 1996 fue profesor titular de Matemática de esa facultad. Es licenciado y doctor en Matemática y doctor en Estudios del Desarrollo, los tres títulos otorgados por la Universidad Central de Venezuela. Fue rector de la Universidad de la República entre 2006 y 2014. Su labor de investigación se centra en la democratización del conocimiento como una estrategia para el desarrollo.

# Bacterias y hongos para una agricultura sostenible

HOY LA AGRICULTURA está basada en un sistema intensivo de producción que implica la aplicación excesiva de agroquímicos, el monocultivo y el uso de maquinaria, lo cual trae aparejado un alto consumo de combustibles fósiles, contaminación ambiental y disminución de la biodiversidad. Por esta razón hay mayor preocupación por parte de organizaciones sociales, académicas y gubernamentales, que demandan sistemas más sostenibles de producción que preserven los recursos naturales no renovables.

Una solución para estos problemas consiste en conocer y estudiar las comunidades nativas microbianas del suelo para desarrollar nuevas biotecnologías. Con este objetivo, el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Facultad de Ciencias investiga bacterias y hongos beneficiosos para un potencial uso en la agricultura. Sabemos que un gramo de suelo contiene millones de bacterias y hongos que cumplen un papel fundamental en la conservación de la fertilidad, la formación de los suelos, el crecimiento de las plantas, la descontaminación ambiental y el control biológico de patógenos.

Las bacterias, en general, tienen mala fama, y se las asocia con enfermedades y patologías. Sin embargo, pueden mostrar un perfil solidario. La investigación desarrollada en Uruguay sobre bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico ha permitido que el sector agropecuario ahorre millones de dólares. El ejemplo más eficiente es el uso de inoculantes de *Rhizobium*. Esta bacteria vive en simbiosis con la raíz de leguminosas, formando órganos llamados nódulos donde se produce la fijación biológica de nitrógeno. Una aplicación de inoculante de *Rhizobium* le cuesta al productor un dólar por hectárea, mientras que una aplicación de fertilizante de urea cuesta aproximadamente unos 50 dólares por hectárea.

La tecnología vinculada al uso de la fijación biológica de nitrógeno brinda considerables beneficios económicos, ecológicos y sociales. Otro ejemplo de aplicación de bacterias en la agricultura es el uso de *Azospirillum*, una bacteria que habita los suelos, fija el nitrógeno atmosférico y excreta sustancias llamadas auxinas, que regulan y promueven el crecimiento vegetal. Las auxinas son fitohormonas que incrementan la cantidad de raíces laterales y

pelos radicales, aumentando la superficie disponible para la absorción de nutrientes y el flujo de protones en la membrana de la raíz, lo que promueve la captación de agua y minerales. Por lo general, la inoculación con estas bacterias implica costos más bajos que el empleo de fertilización química, y además provoca menor impacto ambiental.

Los hongos tampoco tienen buena prensa. Si bien muchos de ellos son codiciados en la alta gastronomía, no los vinculamos con la fertilidad y la estructura de los suelos. En términos evolutivos y ecológicos, los hongos más antiguos y universales son llamados micorrizas arbusculares. Estos viven en los suelos asociados con el 95% de las raíces de las plantas, ayudan a su crecimiento, les ofrecen resistencia a condiciones de estrés ambiental y contribuyen a la formación de agregados y estructuración de los suelos.

Existe además un grupo importante de hongos y bacterias que presentan efectos antagonistas con otros microorganismos, y esta acción puede ser aprovechada como una forma de control biológico de patógenos vegetales. El control biológico es un

método de regulación y manejo de plagas, enfermedades y malezas. Consiste en utilizar organismos vivos para controlar las poblaciones del organismo perjudicial.

Como si fuera poco, hongos y bacterias no sólo previenen enfermedades y contribuyen al crecimiento de las plantas, sino que también son los principales microorganismos descomponedores. Esto significa que pueden obtener la energía necesaria para crecer y reproducirse a expensas de la materia orgánica muerta. La descomposición de los restos orgánicos ocurre al mismo tiempo que se liberan al suelo los nutrientes necesarios para el crecimiento de otros seres vivos. Hongos y bacterias del suelo son los principales «recicladores» naturales de los nutrientes y la energía en todos los ecosistemas. Si no existieran los microorganismos descomponedores, la materia orgánica se acumularía en los ecosistemas y no sería posible reciclar los nutrientes necesarios para continuar la vida. En la agricultura, cuando pensamos en los restos vegetales poscosecha o en sistemas de cultivo de siembra directa, donde el suelo queda cubierto por rastrojo, los microorganismos descomponedores son esenciales para

conservar la fertilidad de los suelos y el ciclo de nutrientes.

En la actualidad, el aumento de la población humana, la urbanización y la actividad industrial provocan la constante y persistente contaminación del ambiente. Una de las estrategias más novedosas para la limpieza ambiental es utilizar bacterias que se alimentan de los residuos tóxicos. Esta técnica se ha empleado exitosamente en casos de derrame de petróleo, en agua y en suelo.

Las estrategias de investigación desarrolladas en el Laboratorio de Microbiología de Suelos tienen como principal desafío ofrecer nuevas herramientas biotecnológicas que permitan producir alimentos saludables sin poner en riesgo la seguridad alimentaria y al mismo tiempo mitigar la contaminación ambiental. Una alternativa a este dilema es el uso de microorganismos benéficos que habitan naturalmente en los ecosistemas y pueden ser efectivamente integrados a sistemas de producción agrícola. Desde hace varios años nuestro grupo, en colaboración con otros investigadores, estudia de forma interdisciplinaria las comunidades microbianas del suelo en busca de microorganismos beneficiosos que puedan ser

utilizados en la agricultura para proteger los cultivos del ataque de plagas o enfermedades (control biológico), como fertilizantes «amigos» del ambiente (biofertilizantes) o para la limpieza de ambientes contaminados (biorremediación). Actualmente contamos con una importante colección de microorganismos con diferentes capacidades para su potencial aplicación. La sostenibilidad energética, ambiental y económica de los sistemas agrícolas depende, en gran medida, de la conservación de la biodiversidad genética y funcional de las comunidades microbianas naturales del suelo. ▣

ADRIANA MONTAÑEZ es asistente del Laboratorio de Microbiología del Suelo del Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias. Es licenciada en Ciencias Biológicas (Universidad de la República), realizó su doctorado en la Universidad de Reading (Inglaterra) y se desempeñó en Italia como especialista en biodiversidad del suelo en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). En el área de la ecología microbiana, investiga las interacciones benéficas entre plantas y microorganismos del suelo, y la utilización de microorganismos benéficos en la agricultura.

# Naturalmente transgénico: aportes a la agrobiotecnología nacional

LA AGRICULTURA, que permitió grandes cambios en la forma de vida de la humanidad, trajo aparejada la modificación de las especies vegetales tomadas como cultivo. Hoy es una de las actividades humanas de mayor impacto ambiental: casi 40% de los suelos sin cubrir por hielo se dedican a tareas agropecuarias y 70% del agua que consume la humanidad se usa en tareas agrícolas.

Desde su inicio, hace unos 10.000 años, se distinguen tres fases de desarrollo en la agricultura. En la primera, la humanidad seleccionó las mejores variedades vegetales en base a la diversidad espontáneamente generada por la naturaleza. En el siglo XX se incrementó esta diversidad al aplicar métodos no dirigidos, tales como la exposición de los cultivos a radiactividad o mutágenos químicos, que fueron integrados a programas tradicionales de mejoramiento vegetal. Las variedades obtenidas se seleccionaban de acuerdo con su performance mejorada, aun cuando en la mayoría de los casos se desconocían los mecanismos moleculares responsables de esa mejora. En la década del 80, comenzaron a surgir métodos que permitieron aumentar

la diversidad de cultivos de una forma más dirigida, conocidos como transgénesis vegetal. En estos, una secuencia genética de interés es aislada y potencialmente modificada en el laboratorio, para luego ser incorporada a una especie vegetal, con el fin de conferirle un nuevo rasgo, tal como la tolerancia a herbicidas o la resistencia a patógenos.

En los últimos 20 años, Uruguay mostró un incremento importante de su producción agrícola y la producción de soja llegó a liderar las exportaciones del país. Una de las razones de esta expansión agrícola, aunque no la única, ha sido la incorporación de soja transgénica, que es tolerante a herbicidas que se pueden aplicar para matar malezas que compiten con el desarrollo del cultivo, sin dañarlo. Hasta ahora, la soja y el maíz son las únicas especies vegetales transgénicas aprobadas para su producción y consumo en Uruguay. El uso de «organismos vivos y sus partes genéticamente modificadas (GM)» se encuentra regulado por el Decreto 353/08 (2008). Esa normativa promueve el paradigma de coexistencia regulada entre variedades GM y no GM, establece distancias de aislamiento

entre los cultivos y declara voluntario el etiquetado GM o no GM en los alimentos. Recientemente, en Montevideo, con el fin de preservar el derecho a la elección del consumo de alimentos transgénicos y responder al principio de precaución ante estas tecnologías, comenzó a regir el Decreto departamental N° 34.901, que establece la obligatoriedad del etiquetado de los alimentos que contengan material transgénico en porcentajes mayores a 1%.

Hace unos 15 años se establecieron en la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República capacidades para contribuir a una mejor generación, adopción y contralor de los organismos vegetales genéticamente modificados y de su paquete tecnológico asociado. Por un lado, para la comprensión y el aprovechamiento biotecnológico de procesos biológicos, es fundamental entenderlos a nivel molecular, una tarea que lleva a cabo el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal. Allí se estudian las funciones de distintos genes por medio de organismos transgénicos generados en el laboratorio. Para obtenerlos, se aísla y frecuentemente se modifica una secuencia del genoma que luego se incorpora

en un organismo igual o diferente del que se la extrajo inicialmente. Con esto se busca provocar un aumento o una disminución en la expresión de dicha secuencia genética y las consecuencias generadas en el organismo se analizan para deducir la función de la secuencia estudiada. Empleando este abordaje, el Laboratorio de Biología Molecular Vegetal estudia las respuestas de las plantas a condiciones ambientales adversas, como la sequía y las temperaturas extremas, o al ataque de patógenos, como hongos y bacterias. Particularmente, para el caso de la soja, este laboratorio estudia los genes responsables de que algunas variedades de este cultivo sean más tolerantes a la sequía que otras. Además del conocimiento básico que estas investigaciones producen, se busca integrarlas a programas de mejoramiento vegetal destinados a aumentar la producción agrícola sustentable.

Por otra parte, en el Laboratorio de Trazabilidad Molecular Alimentaria (Latrama), de la Sección Bioquímica, se emplean técnicas basadas en el estudio de ADN, para detectar, identificar y cuantificar el contenido de organismos vegetales GM en alimentos, y para evaluar la

ocurrencia y la frecuencia del flujo transgenes entre los cultivos de maíz GM y no GM en Uruguay. En este sentido, se ha formado un equipo interdisciplinario de investigadores de la Universidad de la República y en 2012 se firmó un convenio con la Intendencia de Montevideo para cooperar con su Laboratorio de Bromatología. El acuerdo apunta a realizar transferencia tecnológica y formación de recursos humanos para tareas de identificación de especies animales y vegetales, incluyendo los transgénicos, en alimentos.

Los resultados obtenidos por el equipo del Laboratorio de Trazabilidad Molecular Alimentaria muestran que, en un análisis de 50 productos elaborados con maíz, más de la mitad presentó secuencias transgénicas y 35% lo hizo en porcentajes mayores al límite umbral para el etiquetado GM en Montevideo. En cuanto al flujo de transgenes entre cultivos de maíz GM y no GM, este ocurre a distancias mayores a las fijadas por la reglamentación y en frecuencias de hasta 5%. Esta información podría contribuir a redefinir las distancias de aislamiento para asegurar umbrales de presencia accidental de transgenes.

Los vegetales transgénicos tienen alto impacto y potencial en la investigación básica y la producción nacional, por lo que la Facultad de Ciencias investiga y forma recursos humanos para contribuir a la capacidad nacional de generación y análisis de vegetales transgénicos, así como de disciplinas científicas relevantes para la correcta aplicación y contralor del paquete tecnológico que los incluye. De esta manera, junto con otras instituciones con las que se ha vinculado, contribuye al desarrollo de la agrobiotecnología en el país. ▣

MAILÉN ARLEO es asistente del Latrama de la Sección Bioquímica. Es licenciada en Bioquímica y magíster en Biotecnología (Universidad de la República). CLAUDIO MARTÍNEZ DEBAT es profesor adjunto del Latrama de la Sección Bioquímica. Es químico farmacéutico (Udelar) y doctor en Ciencias Biológicas (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas -Pediciba-). MARCEL BENTANCOR es asistente del Laboratorio de Biología Molecular Vegetal, licenciado en Bioquímica (Udelar), magíster en Biología Celular y Molecular, y candidato a doctor en Ciencias Biológicas (Pediciba).

# La biología del conocimiento

EN CASI TODAS las tradiciones culturales o religiosas el conocimiento, esa capacidad de comprender las cosas del mundo aparece como un componente central. Confiere a los humanos un gran poder que conlleva al mismo tiempo una pesada carga. En el relato bíblico del Génesis, comer del fruto prohibido implica la pérdida de la inocencia. La armonía edénica del hombre con la naturaleza se ve perturbada por la curiosidad y el conocimiento. Nuestra capacidad de generar, preservar y transmitir conocimiento ha signado nuestro devenir como especie. Desde el origen, luego de muchos «experimentos» evolutivos que nos fueron apartando de los demás primates, las habilidades cognitivas de nuestra especie nos llevaron a generar cultura, arte y tecnología. Pero, al mismo tiempo, esa capacidad ha sido una fuente inagotable de curiosidad y reflexión filosófica sobre nuestra propia naturaleza, generando perplejidad acerca de nuestra identidad y lugar en el universo. En todo caso, tal capacidad ha sido una fuerza creadora y transformadora que ha cambiado radicalmente el mundo en que vivimos.

El siglo XX fue testigo de la incorporación de la mente al conjunto de problemas abordables desde la ciencia. Ya desde fines del siglo XIX, la neurología y la neuropsicología mostraban de manera inequívoca que el cerebro es el asiento de las actividades cognitivas y emocionales. El estudio de los fenómenos mentales fue enlentecido por el conductismo estadounidense, una corriente de pensamiento que pretendía entender el comportamiento humano únicamente estudiando las relaciones entre estímulos y respuestas. No obstante, en Europa trabajos como el del biólogo Jean Piaget fundaron la psicología del desarrollo y marcaron a la psicología hasta hoy con una serie de profundas reflexiones y teorías que combinan biología, psicología y epistemología.

Fue, sin embargo, el paradigma computacional, que debe mucho al trabajo del matemático inglés Alan Turing, el que liberó al estudio de la mente de la ortodoxia del conductismo. Turing hizo avanzar formidablemente la noción formal de computación y de máquina programable, haciendo posible un modelo materialista de la mente según el cual el cerebro es una máquina que computa y la mente un tipo de programa. Poco

después, los neurobiólogos comenzaron a crear modelos capaces de realizar operaciones lógicas, utilizando aspectos de estructura y funcionamiento inherentes a las neuronas y sus conexiones. La computación impactó asimismo en disciplinas vinculadas con las humanidades, tales como el programa de estudio de la lingüística establecido por Noam Chomsky. La búsqueda de reglas formales explícitas capaces de describir la competencia lingüística humana alimentó una vigorosa experimentación y llevó incluso a parte de la psicología cognitiva a alejarse de la neurobiología, al poner el acento en una forma de computación abstracta, sin considerar la naturaleza de la «máquina» que la realiza. Pero los rápidos avances actuales de las neurociencias, las modernas teorías de redes de neuronas y las nuevas técnicas imagenológicas que permiten «ver» al cerebro funcionando están produciendo una nueva convergencia, en la que aquel computacionalismo ingenuo está dejando paso a formas más refinadas y comprensivas de entender la mente.

Esta nueva idea acerca de la naturaleza de la mente humana está arraigada fuertemente en la biología gracias a los avances



en la genética, la biología molecular, la evolución y, particularmente, las neurociencias, que comienzan a generar el cuerpo de conocimientos necesario para entender los mecanismos materiales que subyacen al comportamiento animal y al humano en particular.

El hombre, al igual que otros seres vivos, no es una tabla rasa que la cultura programa. Somos organismos biológicamente equipados con estructuras cognitivas destinadas a la vida social y especializadas para ella, como es muy evidente en el caso del lenguaje o, de modo más sutil, en el sistema que nos permite reconocer y empatizar emocionalmente con nuestros congéneres. Nuestro ser social está definido por nuestro equipamiento biológico y, a su vez, lo social define nuestro lugar de existencia natural. El desarrollo correcto de las capacidades cognitivas individuales requiere la interacción con el mundo y particularmente con otros individuos de la especie.

Esta síntesis explica la influencia creciente de las neurociencias. Desde la medicina a la educación y desde la tecnología a la economía, el rango de posibles impactos de las ciencias del cerebro es sumamente amplio. De manera similar a lo que ocurrió con el proyecto Genoma Humano a fines del siglo pasado, hoy existen múltiples iniciativas y proyectos sobre el cerebro que marcan probablemente el comienzo de una nueva etapa en la que los estudios sociales, neurobiológicos y cognitivos, fertilizándose recíprocamente, produzcan nuevas maneras de entender lo que somos y herramientas para mejorar nuestro hacer colectivo.

Nuestros aportes desde la Facultad de Ciencias de la Universidad de la

República se enmarcan en esa nueva neurociencia cognitiva, que se nutre a la vez de la tradición neurocientífica uruguaya y de los nuevos desarrollos. Desde su creación, la Facultad de Ciencias ha cobijado a un pequeño grupo de investigadores en las áreas dedicadas al estudio de los aspectos cognitivos y teóricos de la neurociencia. Como ejemplo, desde la biofísica, la creación de modelos neurales simplificados de los procesos mentales llevó a explorar las conexiones entre las estrategias y métodos de exploración que utiliza el sistema nervioso para alcanzar una meta y la producción del discurso en pacientes que sufren patologías psiquiátricas. Por otra parte, desde la interacción de la neurociencia con la biomatemática, en el estudio de la singular percepción del mundo de los peces eléctricos, hemos encontrado claves para investigar aspectos de la percepción visual en humanos. Este grupo coadyuvó a la instalación en otros servicios universitarios de grupos de investigación en ciencias cognitivas y, junto con colegas de las facultades de Psicología e Ingeniería, impulsamos un esfuerzo interdisciplinario que está promoviendo la creación de una maestría en Ciencias Cognitivas, la realización de cursos de posgrado internacionales y, últimamente, la concreción de proyectos de investigación conjuntos.

El camino que los investigadores de la facultad hemos elegido para llevar a cabo estas actividades es el que ha marcado a nuestra institución desde su nacimiento: la Facultad de Ciencias nunca fue concebida como una institución profesional

más, sino como un núcleo articulador de la producción de conocimiento al más alto nivel posible, única forma de contribuir al verdadero desarrollo del país. ▣

JUAN CARLOS VALLE-LISBOA es profesor adjunto de Biofísica de la Facultad de Ciencias y desempeña actividades en la Facultad de Psicología. Es licenciado en Bioquímica (Universidad de la República), magister en Biología y doctor en Ciencias (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Pedeciba). Su principal interés es el estudio de las habilidades computacionales del sistema nervioso, mediante la modelización neural del lenguaje normal y sus alteraciones en ciertas patologías, así como de los procesos involucrados en la adquisición de conceptos. LEONEL GÓMEZ SENA es profesor adjunto de la Sección Biomatemática de la Facultad de Ciencias. Es médico, magister en Biología y doctor en Ciencias (Pedeciba). Su principal línea de investigación se centra en las bases neurales de los procesos sensoriales, ya sea de manera directa en modelos animales o indirecta, mediante técnicas psicofísicas y registros electroencefalográficos, en humanos.

# Nosotros cambiamos, los virus también

AUNQUE SE ENCUENTRAN en la frontera de la vida y son de tamaño microscópico, la capacidad de destrucción de los virus no conoce límites. Estos microorganismos pueden causar enormes daños a las poblaciones humanas (recordemos, si no, el brote de la enfermedad hemorrágica causada por el virus Ébola en África occidental, la pandemia de gripe de 2009 causada por una nueva variante del virus Influenza, la reemergencia del virus Dengue en las Américas y, yendo más atrás en el tiempo, la pandemia de influenza de 1918, que causó más de 50 millones de muertes en un año).

Los virus son microorganismos de estructura muy sencilla, compuesta por una cápsula de proteínas que contiene el material genético (en forma de molécula de ADN o de ARN) y solamente son capaces de reproducirse utilizando la maquinaria de células vivas específicas, lo que lleva a cuestionamientos sobre su calidad de seres vivos. Este parasitismo genera o bien la muerte de la célula invadida o su mal funcionamiento, originando de esta forma enfermedades de diferente gravedad, dependiendo del tipo de virus y a qué células infecta, así como del efecto que produce el virus en la célula infectada.

Hoy en día contamos con estrategias que nos permiten estudiar a estos virus y ver cómo «cambian» con el transcurso del tiempo, a fin de anticiparnos a los diferentes brotes o a la aparición de nuevos tipos virales con mayor resistencia a las diferentes terapias antivirales disponibles en la actualidad. Esto es lo que actualmente estudiamos en el Laboratorio de Virología Molecular de la Facultad de Ciencias, y lo denominamos «evolución viral».

Quizás mucha gente se pregunte qué aporte puede brindar el estudio de la evolución viral en Uruguay. Para contestar esta pregunta es importante saber de qué hablamos cuando hablamos de evolución. Según la Real Academia Española, la evolución es una mudanza de conducta, de propósito o de actitud, un cambio de forma. En términos biológicos, la evolución es el cambio en la frecuencia con que aparecen las diferentes variantes de organismos en una población con el paso del tiempo. Las variantes ocurren mediante cambios biológicos y orgánicos de los organismos, por lo que los descendientes llegan a diferenciarse de sus antecesores.

Entonces, ¿por qué nos parece importante estudiar este «cambio» de los virus?

Como mencionamos antes, los virus cambian constantemente, lo que hace difícil tanto su tratamiento como su prevención. Es así que muchos virus no circulan en un individuo como un único virus, sino que, a medida que se multiplican, también van cambiando al incorporar mutaciones a su material genético, lo que hace que circulen como una nube de variantes estrechamente relacionadas genéticamente, pero no idénticas. Así ocurre con muchos virus ARN (denominados así por el material genético que poseen), que tienen gran importancia a nivel médico ya que están asociados a enfermedades humanas como la hepatitis C, la gripe o el síndrome de inmunodeficiencia adquirida, entre otros.

¿Qué ventaja les otorga esto a los virus? Esta característica le permite a la población viral emerger y adaptarse rápidamente a nuevos ambientes y hospederos, así como generar resistencia a vacunas y drogas antivirales. Esto significa que la presión generada por vacunas o drogas antivirales puede favorecer, dentro de esta nube de variantes, a aquellas que, si bien pueden ser muy minoritarias, son resistentes a la terapia, y de esta forma hacer que

esta población se propague. Por otra parte, la formulación de vacunas contra virus que cambian rápidamente, como es el caso del virus de la gripe, genera la necesidad de reformular la vacuna año a año para que sea efectiva contra los virus circulantes en un momento determinado.

En definitiva, la rápida evolución representa una enorme dificultad en el control de las enfermedades causadas por los virus. Es claro, entonces, que es necesario entender mejor la dinámica de estas poblaciones en los individuos infectados para aplicar las drogas antivirales y definir los parámetros que son críticos para el desarrollo de nuevas terapias efectivas. Una clara comprensión de la dinámica evolutiva viral y su relación con la resistencia antiviral puede facilitar el desarrollo de terapias y vacunas efectivas y apropiadas para el control de las enfermedades que estos virus causan.

Por este motivo es necesario, no sólo diseñar fármacos o vacunas que puedan resolver efectivamente la infección o bien prevenirla, sino también generar un diseño de terapia apropiado para cada paciente. La importancia de contar con una terapia personalizada radica en poder brindarle al

paciente un tratamiento acorde a la variabilidad del virus con el que está infectado, con el fin de minimizar los efectos secundarios y disminuir los costos terapéuticos. Es por ello que en el Laboratorio de Virología Molecular de la Facultad de Ciencias, utilizando como modelo de estudio los virus del dengue, de la hepatitis C y de la gripe, nos enfocamos en analizar cuán variables a nivel genético son estos virus en la región y cómo «cambian» con el transcurso del tiempo. Es de gran interés, además, poder detectar la presencia de variantes minoritarias, que presenten marcadores de resistencia a la terapia, así como en qué porcentaje se encuentran. De esta forma, los pacientes podrán verse beneficiados de una terapia dirigida y específica, y evitar así verse sometidos a una terapia para la cual las variantes virales que portan son resistentes. Es cierto que la detección de variantes minoritarias resistentes en un paciente no siempre se verá reflejada en un fracaso de la terapia, pero la probabilidad de que así sea es mayor.

El conocimiento generado a partir de esta línea de investigación redundará en beneficios para el sector de la salud, ya que el personal médico dispone de un factor más

a considerar para asignarle al paciente la terapia más adecuada, lo que podría significar tratamientos más cortos y ante los cuales el paciente manifieste mayor respuesta. La capacidad de determinar la terapia adecuada para cada paciente se traduciría, además, en un importante ahorro económico para Uruguay. ▣

MARÍA DEL PILAR MORENO KARLEN es asistente del Laboratorio de Virología Molecular de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (Udelar). Licenciada en Bioquímica (Udelar), realizó su maestría y doctorado en Ciencias Biológicas (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas). Su línea actual de investigación se centra en la evolución del genoma del virus de la hepatitis C y en el estudio de los retrovirus endógenos humanos.

# ¿Qué nos dice la genómica sobre la aparición del *Homo sapiens*?

LA VIDA TUVO su origen en la Tierra hace al menos 3.500 Ma (millones de años) y ha evolucionado desde entonces. Sin embargo, acá pondremos la lupa en un pequeño sector del árbol de la vida, aquel en el que nos encontramos con algunos parientes cercanos. Así, nuestra escala de tiempo se limitará a 15 Ma, un instante en relación con la historia de la vida y, dentro de ese lapso, solamente a lo ocurrido en nuestro entorno evolutivo más inmediato. En otras palabras: si equiparamos la aparición de la vida a distancia, y asumimos que esta equivale a 1.000 metros, nos centraremos en algo así como 4,3 centímetros. Discutiremos aspectos de la evolución humana en base a estudios genómicos. El genoma es el conjunto del material genético (ADN), que se transmite de padres a hijos y contiene la información para formar ARN y proteínas. Estas moléculas cumplen las principales funciones en el organismo, y sus propiedades están codificadas en el genoma, pero las características del organismo dependen también de factores ambientales (alimentación, sanidad, entre otros).

Cuando observamos características idénticas entre dos especies evolutivamente

próximas, como humano y chimpancé, pensamos que se heredaron sin cambios desde su último ancestro común y, cuando vemos diferencias, quisiéramos saber cuáles ocurrieron en la línea que llevó del ancestro hacia nosotros y cuáles en la otra dirección.

El proyecto destinado a obtener la secuencia completa de nuestro genoma comenzó en los años 90 e insumió una década. Pero ya desde los 60, los estudios comparados de ADN y proteínas habían establecido varios hechos importantes sobre nuestro parentesco con los monos superiores (dos especies de chimpancés, gorila y orangután). De estas especies, la más divergente es el orangután, cuyo linaje se separó hace unos 15 Ma del que llevó a las restantes. Las ramas que llevaron a chimpancés, gorilas y humanos se separaron hace apenas unos 5 Ma. La implicancia de estos resultados, controvertidos en su momento, es que estamos mucho más cercanamente emparentados con chimpancés y gorilas de lo que quisiéramos reconocer.

El registro fósil de homínidos, principalmente en África, está en línea con esa nueva visión. Y a fines de la década del 80,

estudios del ADN de las mitocondrias (pequeñas estructuras dentro de las células) apoyaron el origen africano de nuestra especie, y una expansión desde ese continente al resto del mundo.

¿Cómo se ha enriquecido esta visión una vez secuenciados los genomas de nuestra especie y de los primates más cercanos? En primer lugar, se pudo refinar la trama de parentescos, y hoy sabemos que nuestros parientes vivientes más cercanos son los chimpancés, mientras que el gorila es algo más divergente de nosotros (y de los chimpancés). El genoma humano es 99% idéntico al de los chimpancés y más de 98% idéntico al del gorila. La mayor separación del orangután no se discute; aun así, comparte con nosotros casi 97% de su genoma. Estos valores se basan en comparaciones gen a gen, y dan una idea de cuán similares son todos estos genomas. El cotejo más detallado muestra un mosaico: se alternan en nuestro genoma regiones más cercanas a las equivalentes de chimpancés (la mayoría) con otras más cercanas al gorila. Esto sugiere fuertemente que cuando se separaron las líneas que darían lugar al gorila y al linaje humano/

chimpancé, y nuevamente, cuando se produce la separación que daría lugar al chimpancé y nosotros, persistieron genes ancestrales que terminaron repartiéndose de distinto modo entre las especies vivientes. La genómica ha confirmado la expansión de nuestra especie desde África, pero ha revisado a la baja la antigüedad de dicho acontecimiento. También hay evidencia de que, aun luego de la formación de especies distintas, éstas mantenían la capacidad de entrecruzarse, un fenómeno inesperado. La secuenciación de genomas del «hombre de Neandertal» y de los fósiles llamados «denisovanos» indicó que representan dos especies diferentes a la nuestra. Sin embargo, se ha advertido que alrededor de 3% de nuestro genoma proviene de la hibridación con los neandertales. En menor medida, hay también trazas en nosotros de fragmentos del genoma denisovano. Esto indica que nuestra especie, al expandirse desde África, se cruzó ocasionalmente con miembros de estas especies cercanas.

Ahora bien, si somos tan similares a los chimpancés y al gorila (y, ni que hablar, a especies fósiles de nuestro género), ¿qué hay en el genoma que nos distinga de estas especies? Una primera clase de diferencias se encuentra en genes del sistema inmunológico. No hay sorpresa en ello, porque la diversidad y velocidad de cambio evolutivo en los patógenos exige que las especies deban evolucionar su sistema defensivo. Una segunda clase de cambios más interesante surge al comparar, ya no las secuencias de los genes que codifican para proteínas, sino sus niveles

de expresión. Así, se han encontrado muchos genes involucrados en el crecimiento del cerebro y el desarrollo de sus funciones, que se expresan más en humanos que en chimpancés. Esto implica básicamente que compartimos la misma batería de genes pero que se regulan de manera distinta. Asimismo, sabemos que hay genes que, aunque son a nivel genómico esencialmente idénticos, producen proteínas diferentes en estas especies (por corte y empalme alternativo de segmentos génicos). Se han encontrado también cambios en genes que parecen estar implicados en innovaciones importantes para nuestra evolución. Entre ellos se cuentan cambios vinculados con la pérdida de pelo y pigmentación de la piel, el consumo de carne y el metabolismo energético, así como otros en genes involucrados en el desarrollo del cerebro. Un gen intensamente estudiado, llamado FoxP2, tiene que ver con el lenguaje y la comunicación, y difiere en humanos y chimpancés.

En suma, la genómica comparada nos dice ante todo que somos extremadamente similares a nuestros parientes cercanos y también nos ha permitido comenzar a identificar algunas diferencias genéticas. La secuenciación de genomas completos es un mojón importante en la comprensión de nuestro lugar en el mundo. Pero en verdad apenas estamos empezando a conocer y entender la distancia que nos separa de nuestros ancestros y especies cercanamente emparentadas, en parte porque sabemos poco del trayecto que va desde el genoma hasta la estructura y funciones de nuestro cuerpo. Este es uno de los retos

más importantes para la biología de los próximos años.

En la Facultad de Ciencias, la genómica se está incorporando activamente a diversos campos de la biología. En el Laboratorio de Organización y Evolución del Genoma se estudia la composición de los genomas de diversos organismos para entender su ajuste adaptativo a distintos ambientes y modos de vida, mientras que en el Laboratorio de Evolución se investiga acerca de la diversificación de las especies en respuesta a los ciclos climáticos y la variación geográfica. ▣

HÉCTOR MUSTO y ENRIQUE LESSA son profesores titulares del Departamento de Ecología y Evolución de la Facultad de Ciencias, investigadores grado 5 del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pediciba) e investigadores del Nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores. Musto es magíster y doctor en Ciencias Biológicas por el Pediciba de la Universidad de la República. Lessa es licenciado en Ciencias Biológicas por la Universidad de la República y doctor en Biología por la Universidad del Estado de Nuevo México (Estados Unidos).

# Nanotecnología: el difícil camino hacia su regulación

LOS QUE RONDAMOS los 50 años todavía recordamos el impacto que nos provocó la película *Viaje fantástico*, dirigida por Richard Fleischer y estrenada en Uruguay en 1967. En ella, un grupo de científicos era miniaturizado junto con una nave submarina y luego inyectado en el torrente sanguíneo de una persona para eliminar un coágulo. En ese viaje se enfrentaban a anticuerpos, glóbulos blancos y rojos, cambios en el flujo sanguíneo y otras adversidades que nos hacían olvidar que se trataba de otra aventura de contenido antisoviético producida por Hollywood en plena Guerra Fría. Esa película nos mostraba un mundo de fantasía en el que un dispositivo (la nave submarina) podía interactuar con una estructura biológica de dimensiones pequeñas. Tuvieron que pasar 20 años desde aquel estreno cinematográfico para que el científico alemán Gerd Binnig y su colega, el suizo Heinrich Rohrer, fueran distinguidos con el premio Nobel de Física por el descubrimiento del microscopio de Efecto Túnel, con el que se pueden visualizar y manipular los átomos de la materia.

A casi 50 años de aquella película, la ciencia aún no ha logrado la miniaturización

humana, pero sí ha logrado fabricar entidades tan pequeñas que pueden interactuar con otras entidades del mismo tamaño. Es el llamado *mundo nano*, en el que las dimensiones son del orden de la millonésima parte de un milímetro. En estas dimensiones, la materia muestra propiedades diferentes de las que conocemos habitualmente. Por ejemplo: el oro, de color amarillo, es rojo cuando se trata de una esfera de tamaño nanométrico (nanopartícula) o azul cuando se trata de un tubo de tamaño nanométrico (nanotubo). Podemos rodear esas nanoestructuras de ciertas moléculas con afinidad por un tejido enfermo, de manera que se adhiera a él y produzca una quimioterapia localizada y altamente selectiva. Podemos también adherirle un medicamento y hacer que este se libere lentamente en el organismo, o podemos aprovechar la actividad bactericida de las nanopartículas de plata para eliminar las bacterias que producen el mal olor, o las que producen enfermedades. Pero también podemos crear estructuras enormes constituidas por nanomateriales que confieran alguna propiedad de interés: aviones más livianos, raquetas de tenis más duras, discos duros más rápidos

y de mayor capacidad, y una larga lista de ejemplos.

Es así que el mundo nano ya se encuentra en nuestros hogares: en computadoras, heladeras, prendas de vestir, ropa interior y medias, desodorantes, bloqueadores solares y cremas curativas. También en los *tuppers* para almacenar comidas y en los trapos para limpiar mesadas, entre otros objetos de uso diario. El consumidor puede enterarse de la presencia de estos nanomateriales en la propaganda del producto («contiene nano silver») o simplemente puede ni enterarse, ya que no existe aún una legislación nacional ni internacional que obligue a declararlos. Los países del hemisferio norte lideran la producción de este tipo de productos: Estados Unidos, China, Alemania, España, Japón e Irán. Para el resto de los países, incluido Uruguay, la producción es ínfima o nula. En una visión rápida del concierto mundial, si no estamos del lado de la producción, estamos del lado de los consumidores y de los generadores de residuos de ese consumo.

Por tal motivo, a Uruguay le resulta fundamental tener respuestas para algunas

preguntas clave que debemos hacernos como consumidores y generadores de desperdicios. Por ejemplo, cabe preguntarse si estos productos son tóxicos o si realmente están constituidos por los nanomateriales, como se alega en la propaganda que los comercializa, en qué cantidad se encuentran y si aún están como nanomaterial o se han transformado. En ese sentido, la investigación científica de los últimos años muestra que los nanomateriales experimentan transformaciones, en contacto con los objetos que los contienen, que los pueden tornar inefectivos para cumplir con su objetivo o incluso pueden volverlos tóxicos.

Ya sea para detectar la presencia de estos nanomateriales, para verificar que mantienen sus propiedades una vez que se incorporan a los productos comerciales o para evaluar su grado de toxicidad, es necesario poder medirlos. Una vez que se miden y evalúan, es posible regular su presencia en productos comerciales. Y aquí surge el primer gran problema: no existe una técnica adecuada para medir estos nanomateriales, sino que se debe sumar una serie de técnicas para conocer los principales

aspectos relacionados con ellos. Esto hace que no exista, a nivel mundial, una regulación única que permita a los gobiernos el control de los productos comerciales que ya se encuentran en el mercado. El camino hacia la regulación de los nanomateriales se vislumbra con muchas dificultades.

Dada la importancia creciente de este tema, se ha creado un grupo de trabajo entre el Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Ciencias y el Laboratorio Tecnológico del Uruguay, denominado «Grupo de Nanometrología». Con base en las investigaciones que se han desarrollado en el Laboratorio de Biomateriales en los últimos años, se está avanzando en propuestas para preparar a los diferentes laboratorios nacionales en la medida de nanomateriales en productos comerciales. Por un lado, el Laboratorio de Biomateriales aporta su conocimiento en la caracterización de nanomateriales, mientras que el Laboratorio Tecnológico del Uruguay aporta su experiencia y autoridad como órgano regulador acreditado en el país. Este tipo de trabajo conjunto se está comenzando a desarrollar en algunos países del hemisferio norte, y

existen algunas experiencias incipientes en México y Brasil. Este trabajo de colaboración en el que participa la Facultad de Ciencias posiciona a Uruguay en un sitio de avanzada en materia de regulación y control de los nanomateriales, con el aporte de soluciones reales a problemas que preocupan en el mundo y que nos afectan directamente. El camino de la regulación de los nanomateriales es ciertamente difícil, pero se está transitando. ▣

EDUARDO MÉNDEZ es profesor agregado del Laboratorio de Biomateriales del Instituto de Química Biológica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (Udelar), investigador del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas y del Sistema Nacional de Investigadores. Además es magíster y doctor en Química (Udelar), y ha realizado estancias posdoctorales en las universidades de Karlsruhe y Ulm (Alemania). Dirige la línea de investigación en nanomateriales, incluyendo sus aplicaciones tecnológicas y métodos de análisis.

# El estudio del polen y sus aplicaciones

LOS GRANOS DE POLEN y las esporas son elementos reproductores de las plantas terrestres que, a pesar de su pequeño tamaño, tienen numerosas aplicaciones y son el objeto de estudio de una disciplina llamada palinología. Se podría afirmar que la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República comenzó a tener su laboratorio de palinología en 1987, cuando todavía era la Facultad de Humanidades y Ciencias, y funcionaba en el edificio que actualmente ocupa la Facultad de Psicología. Allí, con muy poca infraestructura pero con muchas ganas, comencé a procesar muestras de rocas muy antiguas usando fuertes ácidos que provocaban la justificada protesta de mis compañeros de laboratorio. No hay nada como una veintañera decidida a hacer algo.

Pasaron 28 años desde aquellos inicios y hoy la realidad, por suerte, es bastante diferente, porque, de a poco, se han desarrollado algunas de las diversas líneas de investigación que comprende la palinología. En realidad, la posibilidad de aplicar esta disciplina a la solución de diversos problemas se basa en cuatro características de los granos de polen y de las esporas:

pequeño tamaño, abundancia, resistencia y diversidad morfológica. Por ejemplo, el hecho de que las formas que adoptan sean lo suficientemente diferentes como para saber qué planta los produjo, junto con su capacidad de dispersarse a gran distancia y de cubrir objetos y personas, posibilita que se utilicen como elementos para la investigación criminal, ya que permite establecer el vínculo entre personas y lugares. Esa misma capacidad de dispersión y de estar en todos lados, especialmente en nuestras narices, es responsable de provocar alergias respiratorias.

Por otra parte, su resistente pared facilita que se encuentren polen y esporas fósiles en rocas muy antiguas. Eso, a su vez, brinda una importante fuente de información para conocer la vegetación del pasado y para evaluar la posibilidad de que en esas rocas se hayan generado hidrocarburos. Tampoco debemos olvidar que las abejas en su viaje para producir miel realizan la polinización, proceso de fundamental importancia para la producción agrícola. A partir del análisis del contenido polínico de las mieles, es posible saber cuál es su origen botánico. En

relación con los cultivos, al cuantificar la producción de polen es posible obtener datos tempranos acerca de cómo será la cosecha, y al analizar la dispersión del polen de los cultivos transgénicos es posible evaluar el grado de contaminación en los cultivos no transgénicos.

En el Laboratorio de Palinología de la Facultad de Ciencias se desarrollan principalmente dos líneas de investigación palinológica. Por un lado, el estudio de pólenes y esporas fósiles que tienen una edad aproximada de entre 250 y 300 millones de años. Este estudio brinda datos sobre la vegetación de esa época, que muestra cómo fue cambiando el clima en el pasado. En esos momentos la Tierra era un planeta muy diferente del actual; por ejemplo, en la configuración de los continentes, ya que existía un supercontinente formado por América del Sur, India, Australia, Antártida y África. Como Uruguay estaba bastante cercano al Polo Sur, nuestro territorio pasó por una era glacial que se fue transformando en un clima más templado, para luego sufrir una aridización que abarcó todo el supercontinente. Conocer las causas que



llevaron a esos cambios y cómo afectaron la vegetación nos permite prepararnos para los posibles cambios climáticos en el futuro. Al mismo tiempo, las rocas en las que se encuentran los granos de polen fósiles son potenciales generadoras de hidrocarburos, y mediante el análisis del color de los granos es posible estimar si la temperatura a la que estuvieron sometidas fue la necesaria para producir petróleo.

Otra línea de investigación en la que trabajamos actualmente está relacionada con el análisis diario de polen y esporas de hongos presentes en la atmósfera. La cuarta parte de la población mundial sufre de rinitis, y 18% de asma, y en muchos de los casos el polen es el desencadenante de estas enfermedades. Por este motivo, es importante conocer cuántos granos —y de qué plantas— están flotando en el aire cada día, ya que no todos provocan alergias con la misma intensidad.

En Montevideo, la información recabada hasta el momento indica que la mayor concentración de polen en la atmósfera se produce en primavera y verano, mientras que en otoño e invierno los valores son mínimos. Las esporas de hongos

también provocan alergias y, aunque los estudios recién han comenzado, se puede afirmar que en otoño y verano se registra mayor cantidad de estas esporas. Por otra parte, también se ha observado que no todos los años presentan el mismo patrón y cantidad, tanto de polen como de esporas, y que esto depende de factores climáticos como la temperatura, el viento y la humedad. En este sentido, actualmente las metas de nuestro equipo de trabajo son, por un lado, continuar con el monitoreo diario y, por otro, interactuar con los médicos para que integren los datos reportados en su consulta.

En resumen, la palinología tiene potencial para un mayor desarrollo y quedan muchas cosas por hacer. Entre ellas, profundizar las investigaciones relacionadas con los cultivos transgénicos o evaluar tempranamente, mediante el monitoreo de esporas de hongos patógenos, la aparición de enfermedades en cultivos. ▣

ÁNGELES BERI es profesora adjunta del Departamento de Geología y Paleontología de la Facultad de Ciencias. Licenciada en Ciencias Biológicas (Universidad de la República), realizó su maestría

en Geociencias en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil) y posteriormente se doctoró en Ciencias Biológicas (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Pdeciba). Es investigadora grado 4 del Pdeciba e integra el Sistema Nacional de Investigadores de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación.

# Un viaje por la matemática

LA MATEMÁTICA es una de las mayores creaciones colectivas humanas. Sirve como instrumento para entender y desarrollar la mayoría de las ramas del conocimiento, y constituye el idioma de la ciencia.

Su importancia va más allá del mundo científico, y puede tener un impacto importante en la vida cotidiana de las personas, en particular, a la hora de tomar decisiones: escoger qué productos comprar en la feria, decidir si llevar paraguas según el pronóstico del tiempo, elegir una financiación adecuada, interpretar una gráfica que aparece en el diario o saber si llegamos al repechaje. Más allá del sinfín de aplicaciones puntuales, aun más importante es cómo la matemática estimula la abstracción y fortalece el pensamiento crítico y racional de las personas.

En la sociedad tecnológica en la que vivimos, en la que los trabajos no calificados tienden a automatizarse con máquinas, cada vez es más necesario formar individuos competentes y creativos con una fuerte base en matemática. Por estas y otras razones, la matemática es una parte esencial de la currícula educativa, y nadie pone en duda su importancia.

Sin embargo, la matemática tiene el peor marketing del mundo. Abundan frases como «yo era malo con los números», «no entendía nada en las clases», «la matemática era difícil» o «era muy aburrido estudiarla». Muchos lectores podrán sentirse identificados con esos puntos de vista. Pero en el otro extremo están los matemáticos, personas apasionadas por esta disciplina, que parecen vivir en un mundo paralelo. ¿Cuál es el misterio?

El primer cometido de esta nota es hacer público el secreto mejor guardado entre los matemáticos. Develemos el enigma: ¡la matemática también es un arte! A los matemáticos, como al resto de los científicos, les apasiona entender las cosas. Sin embargo, el principal desafío del matemático consiste en transitar los caminos que llevan a la respuesta, más que en la respuesta misma. Saber que no se puede dividir un ángulo en tres ángulos iguales usando solamente una regla y un compás no es lo que llena de placer al matemático. Sí lo es entender que el mismo camino que lleva a esa respuesta también explica que no existe una fórmula explícita para encontrar las raíces de un polinomio de quinto grado o mayor. La satisfacción del matemático está en esa búsqueda constante de caminos nuevos que

conectan mundos *a priori* totalmente lejanos. Y es la belleza estética y la simplicidad del camino lo que ayuda a iluminar esa conexión.

El poder de la matemática es embarcarse en lugares desconocidos, con la curiosidad como guía, descubriendo mundos en los que la razón y el sentido común no imaginaron llegar. Un ejemplo muy sencillo, en el que la intuición nos traiciona pero un simple cálculo lo corrobora, es estimar el grosor resultante de doblar por la mitad una hoja de papel (suficientemente grande) sucesivamente 50 veces. ¡El grosor del papel doblado es mayor que la distancia de la Tierra al Sol!

Pero la matemática tiene algo misterioso y sorprendente. No importa cuán apartada de la realidad pueda estar una investigación: tarde o temprano se acercará de maneras inimaginables al mundo real. En este sentido, un ejemplo que se estudia en el Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias consiste en responder el siguiente problema: ¿cómo distribuir puntos sobre una esfera de manera que estén lo más separados que sea posible entre sí? Esta pregunta de enunciado sencillo es un problema surgido hace varios milenios por razones puramente estéticas, pero es de importante aplicación en distintas

ramas del conocimiento, como la virología, la cristalografía y la ingeniería de comunicaciones. Hoy sigue siendo uno de los problemas matemáticos más fascinantes que no hemos logrado resolver.

Si revelamos esa belleza estética de la matemática y alimentamos la curiosidad y la intuición en nuestras escuelas y liceos —haciendo que los estudiantes sean partícipes directos de este viaje—, es muy probable que se transmita de generación en generación, y así podremos, de una vez por todas, eliminar esa mala reputación que carga sobre los hombros.

Para generar estos cambios en el sistema educativo es necesario involucrar a todos los actores vinculados a la educación matemática del país. Una importante iniciativa en este sentido es *Imaginary: un viaje por la matemática*, una exposición muy especial que se inaugura el 11 de setiembre en el Museo de las Migraciones en Montevideo (hay más información en [www.imaginary.org/uruguay](http://www.imaginary.org/uruguay)).

Esta exposición promete llevar a los visitantes a este mundo matemático desconocido y muy atractivo. *Imaginary* transmite los contenidos de la matemática, algunos actuales e incluso problemas todavía sin resolver, por medio de la experimentación propia. El

gran énfasis de esta iniciativa está en la creación: el docente será un guía de viaje que asistirá al público y no un mero transmisor de contenidos a quien los alumnos deben escuchar pasivamente. La propuesta de *Imaginary* es «manos adentro», en la que los visitantes se involucran en crear «su propia matemática», jugando con ecuaciones que en tiempo real se transforman en imágenes (llamadas superficies algebraicas). Estas imágenes son muy especiales, con formas de otro mundo. Podrían pensarse como fotos del mundo matemático que el visitante toma, utilizando una ecuación a modo de lente. Al estar combinada con la última tecnología de pantallas táctiles, impresiones en 3D y un diseño especial, *Imaginary* rompe con muchos estereotipos de la matemática.

Es importante involucrar a las personas cuando uno habla de comunicación. Comunicar ciencia ya dejó de ser un proceso unidireccional; ahora se nutre de la participación y la identificación del público con los contenidos. La exposición *Imaginary* fue creada por muchos impulsos individuales, contribuciones uruguayas, una película sobre nudos salvajes desde México, un programa para replicar los ornamentos árabes de Portugal,

visualizaciones de Francia y Estados Unidos y programas interactivos de Alemania. El público forma parte, crea fórmulas y formas, y se lleva contenidos a casa (todo es en código abierto y de libre acceso). Es una nueva forma de comunicar la matemática, incluyendo al público, conectándolo con el arte, la cultura y la tecnología. En vez de la torre Eiffel en París, se visita la superficie de Boy en el país de la geometría diferencial o la séxtica de Barth en el mundo de la geometría algebraica.

Esta exposición ha sido diseñada para que pueda convertirse en un museo itinerante por el interior del país. Ojalá sirva para hacerle un poco de justicia a la matemática. ▣

DIEGO ARMENTANO es profesor adjunto del Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias. Su formación en matemática incluye la licenciatura (Universidad de la República, Udelar), la maestría (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, PeDECIBA) y el doctorado (Udelar y Universidad de Toulouse III, Francia). Además, realizó un posdoctorado en la City University de Hong Kong. Es investigador del PeDECIBA y del Sistema Nacional de Investigadores. Su principal línea de investigación es el área de los fundamentos de la matemática computacional, más precisamente, en el área de la complejidad de algoritmos en análisis numérico.

# La extensión del límite exterior de nuestra plataforma continental

HACE UNOS DÍAS, en Nueva York se dio un paso fundamental para el establecimiento de un nuevo límite exterior en la plataforma continental, que ampliaría el territorio uruguayo. Si todo sigue bien, el acuerdo técnico alcanzado consagrará la última gran frontera del país.

A inicios de 2004 recibí una invitación para unirme a los trabajos, que me extendió el embajador Julio Lupinacci, entonces presidente de la Comisión para el Establecimiento del Límite Exterior de la Plataforma Continental (Coalep). Me incorporé al Grupo Técnico del que ya formaban parte varios profesionales de la Armada Nacional, la Administración Nacional de Combustible, Alcohol y Portland y los ministerios de Industria, Energía y Minería, Ganadería, Agricultura y Pesca, y Relaciones Exteriores. La geología me había dado muchas alegrías, pero ahora sumaba la posibilidad de investigar nuevamente sobre la evolución del margen atlántico y de contribuir con esos conocimientos a la conquista de un nuevo espacio de soberanía. Esto marcó mi actividad docente en extensión universitaria durante los últimos diez años.

Y es que, desde hace 130 millones de años hasta hoy, los principales aspectos de la evolución física de nuestro territorio estuvieron controlados por los procesos geológicos que fragmentaron un antiguo gran continente para dar lugar al nacimiento y la evolución del océano Atlántico. Conocer los detalles de ese importante evento resulta esencial a la hora de sustentar técnicamente, ante la Organización de las Naciones Unidas, la aspiración de extender el límite exterior de la plataforma continental del país. En ese proceso, la adquisición, el procesamiento y la interpretación de líneas batimétricas y geofísicas del fondo marino fueron labor común de todo el equipo, en especial de los geólogos y geofísicos, que interpretamos basamentos, paquetes volcánicos y sedimentarios y calculamos sus espesores.

Durante el desarrollo de la investigación, los mayores esfuerzos se centraron en una amplia región casi desconocida en su naturaleza física: el futuro territorio marítimo uruguayo se extendería más allá de las 200 millas. El entusiasmo ciudadano de todos los integrantes del equipo no era menor: intentábamos construir

un mapa de Uruguay en el que el celeste mar fuese el color predominante. En aquella primera reunión con el presidente de la Coalep me señaló algo que, según supe después, todos ya habían escuchado: «Tenemos asegurado un límite exterior en las 270 millas, pero creo que estamos en condiciones de aspirar a unas cuantas millas más». Hoy sabemos que el límite exterior de Uruguay estará formado por cinco o seis puntos fijos que se ubicarán muy próximos a las 350 millas, en algunos casos, o directamente sobre esa distancia, en otros; algo así como sumar 82.000 kilómetros cuadrados de lecho y subsuelo marino a nuestro territorio, con la riqueza y nuevos recursos que esto implica para el país.

Sucede que, a diferencia de los límites en tierra que nos podrían remontar al papa Alejandro VI, al Tratado de Tordesillas o a las luchas independentistas, la posibilidad de que un Estado ribereño pueda extender su límite en el mar es reciente. La III Conferencia de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1973) sentó las bases para la redacción de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho

del Mar (Convemar). Uruguay la ratificó por ley en 1992 y, años más tarde, creó la Coalep. En marzo de 2009 se presentó la aspiración ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental, órgano técnico de la Convemar integrado por 21 miembros, que a su vez designó una subcomisión para estudiar nuestra aspiración. Cómo se define el límite exterior está pautado en varios artículos de la Convemar y otras directrices técnicas. Allí se establece que «la plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental».

El primer paso, entonces, consistió en ubicar los «pies del talud continental» y luego fijar los puntos fijos del límite exterior. Para esto último hay dos criterios: uno consiste en definir los puntos fijos más alejados cuyo espesor de sedimento sea por lo menos 1% de la distancia más corta entre ese punto y el pie del talud; el otro resulta de establecer puntos fijos situados a no más de 60 millas del pie del talud. Algunas cláusulas de la Convención restringen estos criterios, como, por ejemplo, que los puntos fijos no superen las 350 millas o que los puntos fijos queden determinados por una línea de una profundidad de 2.500 metros, más de 100 millas.

El criterio más conveniente para el país es la regla del 1%, aunque no fue el que se presentó inicialmente. En los últimos tres años hicimos esfuerzos adicionales que incluyeron relevamientos sísmicos

específicos que nos permitieron encontrar los máximos espesores sedimentarios próximos a las 350 millas, para aplicar el criterio del 1%. Los últimos resultados dieron un mejor soporte a la aspiración.

Eso sí: el trazado del límite exterior en el futuro mapa de Uruguay será raro, caprichoso, escalonado y aserrado. En todo momento contamos con el apoyo del sistema político, en especial cuando necesitamos nuevos relevamientos sísmicos para intentar alcanzar las 350 millas en algunos sectores.

Además, se sumaron otros logros. Hubo un significativo avance en el conocimiento geomorfológico, geológico y geofísico más allá de las 200 millas, así como valiosos datos e información que serán punto de partida para futuros trabajos científicos y esfuerzos exploratorios. También reconocimos provincias geomorfológicas, accidentes geológicos que adelgazaron la corteza continental a punto de casi romperla, precisamos la extensión de nuestra corteza continental, identificamos un conjunto de paquetes volcánicos y sedimentarios que inclinan hacia el mar y nos permitieron delimitar la corteza de transición, así como mostrar la existencia de múltiples eventos volcánicos asociados al nacimiento del océano Atlántico. Descubrimos extensos derrames de basaltos planos que preceden el inicio de la corteza oceánica y que fueron motivo de discusiones con los técnicos de la subcomisión. Como si esto fuera poco, los levantamientos sísmicos nos revelaron un conjunto de situaciones exploratorias promisorias para la generación y acumulación de hidrocarburos más

allá de las 200 millas. De todas maneras, somos conscientes de que es mucho más lo que aún desconocemos.

Para los que creemos que en algún momento el ser humano tomará en cuenta la real dimensión que tienen los océanos y fondos marinos en el futuro de la humanidad, todo esfuerzo por extender nuestro margen continental resulta estimulante. Uruguay debe darse vuelta y mirar al mar, explorar, conocer y cuidar esa nueva parte de soberanía nacional sobre el lecho y el subsuelo. La Facultad de Ciencias tiene otros 25 años para formar más y mejores biólogos y geólogos marinos, oceanógrafos, físicos y geofísicos que aporten en esa dirección. El desafío no termina: recién empieza. ▣

GERARDO VEROSLAVSKY es profesor adjunto y director del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias. Es licenciado en Geología (Universidad de la República) y realizó su formación de maestría y doctorado en la Universidad Estadual Paulista (Brasil). Es investigador del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas y del Sistema Nacional de Investigadores. Se especializa en el estudio de las cuencas sedimentarias. Integra el Grupo Técnico de la Comisión para el Establecimiento del Límite Exterior, dependiente del Ministerio de Relaciones Exteriores, como parte de sus actividades de extensión universitaria.

# La biología molecular como arma contra el mal de Chagas

EL MAL DE CHAGAS es una enfermedad endémica de América Latina. Afecta a más de ocho millones de personas, principalmente en la población rural socialmente más postergada. Fue descubierta en 1909 por el médico brasileño Carlos Chagas, quien describió las manifestaciones clínicas de la enfermedad y los aspectos básicos de la biología del parásito que la causa, especialmente en cuanto a sus vías de transmisión y su ciclo de vida. El parásito es transmitido por una especie de insecto llamada vinchuca, cuya erradicación es la estrategia principal para controlar la diseminación de esta enfermedad. En eso, nuestro país fue pionero en América Latina: logró interrumpir la transmisión vectorial en 1997. Sin embargo, debido a su presencia en países vecinos, el peligro de la reaparición se mantiene presente. Además, la enfermedad puede ser transmitida en forma congénita a los hijos por madres infectadas, y también por transfusiones y por trasplantes. Por estas vías, y debido al flujo de migraciones de la población a zonas no endémicas, el mal de Chagas se ha extendido y alcanzado América del Norte y Europa.

En la enfermedad se distinguen dos etapas. La fase aguda tiene lugar al contraerse

la infección. Se caracteriza por la presencia de gran cantidad de parásitos en sangre, pero como muchas veces transcurre sin síntomas o con síntomas leves, resulta difícil de detectar. Por el contrario, la fase crónica es de larga duración y los parásitos invaden distintos tejidos y generan trastornos cardíacos, digestivos, neurológicos o mixtos. Con el tiempo, la infección puede causar insuficiencia cardíaca y muerte súbita.

Si bien han transcurrido más de 100 años desde su descubrimiento, hoy en día no existen vacunas ni tratamientos específicos contra esta parasitosis. Los dos fármacos que se usan desde hace más de 50 años presentan serios efectos secundarios; son inapropiados para niños y personas inmunodeprimidas, y efectivos sólo en la fase aguda de la enfermedad, que a menudo pasa inadvertida.

El parásito que causa esta enfermedad es el protozooario *Trypanosoma cruzi*. Varios grupos en el mundo se dedican a investigar este microorganismo buscando comprender mejor los diferentes aspectos de su biología. Además, con el objetivo de revelar estrategias para combatirlo que resulten más eficientes y menos tóxicas que las actuales,

se han abocado múltiples esfuerzos a la búsqueda de particularidades que lo diferencien de los humanos y que, por tanto, habiliten a combatirlo sin dañar al hospedero. En este sentido, los estudios de biología molecular han permitido identificar varias peculiaridades prometedoras.

La biología molecular es la disciplina que se ocupa de estudiar los procesos de mantenimiento y replicación del genoma y de la expresión de la información genética. Esta información se almacena en forma de ADN, y no cambia a lo largo de la vida del organismo. Sin embargo, sólo parte de esta información se usa en un determinado momento y en un tipo celular dado. Para que esto ocurra, una parte específica de la información genética debe ser decodificada transcribiéndose en forma de moléculas mensajeras que luego serán traducidas a proteínas. Para que cada tipo de célula adquiera sus características distintivas, estos procesos deben ser regulados estrictamente. Para ello, existen señales en el material genético y moléculas que las reconocen, que actúan concertadamente para definir los genes específicos que serán expresados y los que se mantendrán silenciosos en cada momento y en cada circunstancia.

*Trypanosoma cruzi* tiene un ciclo de vida complejo, que transcurre en dos hospederos bien diferentes: el insecto vector (vinchuca) y el mamífero infectado, alternando, a su vez, entre diferentes formas, de las cuales sólo algunas se pueden replicar y pueden infectar al hospedador. Para adaptarse a los diferentes «ambientes» donde debe vivir el parásito, son necesarios mecanismos de control rigurosos que definan cuáles son los genes que deben «encenderse» y cuáles los que deben «apagarse» en respuesta a cierto estímulo. A pesar de que se secuenció el genoma de *Trypanosoma cruzi* en 2005 y que esto nos permite disponer de toda la información genética de este organismo, las señales que dictan en qué momento y qué parte del genoma debe activarse han resultado esquivas. Además, aunque se sabe que varios de los mecanismos que regulan la expresión de la información genética son distintivos en este parásito, recién se están dando los primeros pasos para desentrañarlos.

Desde hace más de 15 años, en el Laboratorio de Interacciones Moleculares de la Facultad de Ciencias nos dedicamos al estudio de estos aspectos, focalizándonos

en la comparación de los genes que son expresados y/o reprimidos en estadios infectivos y no infectivos del parásito, y durante su proliferación. El uso de análisis bioinformáticos nos ha permitido encontrar la primera señal vinculada al inicio de la transcripción en estos microorganismos. Mediante metodologías experimentales de última generación (agrupadas en las novedosas «ómicas» como la genómica o la transcriptómica, entre otras) hemos identificado grupos de genes relacionados con el proceso de infección y desarrollo del parásito que comparten características en su regulación. Pero, ¿cuáles son las señales y los factores responsables de «encender» o «apagar» los diferentes grupos de genes en cada etapa? Si lográramos identificarlos, podríamos plantearnos condiciones para impedir el progreso del desarrollo parasitario. Los avances alcanzados nos permiten hoy proponer líneas específicas de investigación que nos acerquen cada vez más al descubrimiento de elementos distintivos que puedan ser blanco para el diseño de fármacos.

La complejidad del parásito hace que el combate contra el mal de Chagas resulte

un reto científico. Pero también es un desafío económico y político. La escasa inversión que se destina para atacar esta parasitosis ha hecho que la Organización Mundial de la Salud la califique como una de las «enfermedades descuidadas». En el Laboratorio de Interacciones Moleculares de la Facultad de Ciencias enfrentamos el problema científico y formamos recursos humanos con especialidad en biología molecular como una herramienta valiosa para enfrentar problemáticas sociales como esta. ▣

BEATRIZ GARAT es profesora agregada del Instituto de Biología, química farmacéutica (Universidad de la República, Udelar), magíster en Investigación Biomédica Básica (Universidad Nacional Autónoma de México) y doctora en Ciencias Biológicas (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, PeDECIBA). Además es investigadora Grado 5 del PeDECIBA y Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores. LETICIA PÉREZ es asistente del Instituto de Química Biológica, licenciada en Bioquímica (Udelar), magíster y doctora en Ciencias Biológicas (PeDECIBA) y realizó un posdoctorado en la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Es investigadora Grado 3 del PeDECIBA y Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores.

# Ciencia y cultura: el rol de la astronomía

LA ASTRONOMÍA ha estado íntimamente vinculada con las actividades humanas desde las primeras civilizaciones. Su lugar privilegiado en la historia se explica por razones prácticas (orientarse en la navegación, establecer los momentos adecuados de siembras y cosechas, elaborar calendarios), supersticiosas y también por la mera curiosidad del ser humano. La astronomía contribuye a la dimensión humana de la ciencia al plantearse interrogantes sobre el universo, nuestro lugar en él y, en última instancia, sobre quiénes somos. No sorprende, entonces, que los países que han adquirido cierto nivel de desarrollo humano y económico cuenten con instituciones dedicadas a la astronomía, por motivos que trascienden las consideraciones utilitarias. El desarrollo de esta disciplina en Uruguay tuvo una evolución lenta, con marchas y contramarchas, como sucedió con otras ciencias. La astronomía fue incluida como disciplina en el currículo liceal en 1888, en un plan de estudios que buscaba una formación amplia en letras y ciencias para los estudiantes. En 1927 se inauguró el Observatorio de Montevideo, que fue pensado originalmente como

observatorio universitario dedicado a la investigación, docencia y extensión. Sin embargo, la separación de la enseñanza secundaria de la Universidad en 1935 llevó a que quedara, erróneamente, en la órbita de la primera, que no contaba con los medios necesarios ni tenía entre sus cometidos mantener un observatorio de esa envergadura. En 1955 se inauguró el Planetario Municipal de Montevideo, el primero de Iberoamérica, un orgullo del «Uruguay del Maracaná».

La enseñanza de la astronomía en la Universidad de la República comenzó oficialmente hacia mediados del siglo pasado, con las cátedras de Astrofísica y Astronomía Teórica, ocupadas por los profesores Félix Cernuschi y Carlos Etchecopar, de la entonces novel Facultad de Humanidades y Ciencias. En 1955 se creó en dicha facultad el Departamento de Astronomía, responsable de la investigación y la formación de licenciados en astronomía. Pocos años después, en la década del 60, se instaló en el predio del Aeropuerto Internacional de Carrasco un pequeño radiotelescopio experimental para el monitoreo de radioexplosiones

solares, un proyecto que incentivó el vínculo de varios jóvenes con el Departamento de Astronomía, entre ellos quien escribe esta nota. En 1968 se aprobó el primer plan de estudios de la Licenciatura en Astronomía. Lamentablemente, el impulso que había adquirido el Departamento de Astronomía en su desarrollo académico quedó trunco con el golpe de Estado, que llevó al alejamiento de varios de sus docentes, algunos en forma definitiva.

Cuando se creó la Facultad de Ciencias, en 1990, el Departamento de Astronomía se insertó en la nueva Facultad, dentro del Instituto de Física. Actualmente el área de investigación se centra en las ciencias planetarias y, si bien el grupo de astronomía es pequeño, ha tenido una actuación destacada, lo que ha llevado a que sus miembros con cargos efectivos sean integrantes del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pediciba) y del Sistema Nacional de Investigadores. Uno de los logros del departamento fue dotar al país de un pequeño observatorio astronómico moderno, capaz de llevar a cabo pequeños proyectos de investigación, docencia y extensión.



Luego de gestiones intensas, se creó en 1994 el Observatorio Astronómico Los Molinos, que quedó bajo la órbita del Ministerio de Educación y Cultura. El Observatorio ha servido de puente entre la academia y la Asociación de Aficionados a la Astronomía, cuyos integrantes han instalado sus propios telescopios en el predio de Los Molinos.

La labor del grupo de astronomía no se ha limitado al ámbito local sino que también ha cumplido una función académica y de gestión destacada en la Unión Astronómica Internacional. Los investigadores del Departamento de Astronomía han tenido en ese organismo una participación decisiva en el establecimiento de una nueva definición de planeta, que culminó con la eliminación de Plutón de esta categoría, dando lugar al nuevo paradigma de un sistema solar de ocho planetas. A su vez, la Unión Astronómica Internacional ha distinguido a varios egresados del departamento, designando a algunos asteroides con sus nombres.

Desde el Departamento de Astronomía se ha tenido siempre especial cuidado en mantener un contacto fluido con la

sociedad por medio de charlas de divulgación, cursos de actualización, comunicados de prensa, notas, entrevistas y colaboración en las Olimpiadas de Astronomía para estudiantes liceales, entre otras iniciativas. La docencia y la extensión son dos pilares de la Universidad, pero su calidad debe estar basada en la investigación, de lo contrario se corre el riesgo de que terminen siendo comentarios acrílicos sobre el trabajo de otros. El investigador que populariza el conocimiento lo hará en base a su propia experiencia, apoyado en los cimientos sólidos que da el análisis profundo y crítico de los temas que aborda. Un prejuicio muy común que muchos divulgadores no científicos suelen reforzar (en general, involuntariamente) es el de que la ciencia se hace exclusivamente en países desarrollados. Los científicos, al divulgar desde sus laboratorios o lugares de trabajo, mostrarán al público que la investigación desde el sur también es posible.

Desde una interpretación amplia, entendemos que la cultura es la información que tienen los ciudadanos sobre diversos temas y su capacidad de apreciarlos y discutirlos críticamente, un criterio que se aplica tanto al arte y a la literatura como a las ciencias

sociales, naturales y exactas. Por lo tanto, la ciencia debe cumplir una misión más allá de su aplicación inmediata y no puede quedar reducida a una mera herramienta utilitaria para generar productos competitivos en el mercado. La ciencia debe ser una parte integrante de la cultura de una sociedad, que contribuya a una formación crítica y reflexiva de sus ciudadanos, capaces de abordar los nuevos desafíos de forma creativa. Dada su escasa población y recursos naturales, Uruguay sólo podrá competir en el concierto internacional si desarrolla al máximo el talento de su gente, para lograr de esa manera una sociedad más próspera y justa. ▣

JULIO ÁNGEL FERNÁNDEZ es profesor titular de Astronomía en la Facultad de Ciencias y fue decano entre 2005 y 2010. Es licenciado en Astronomía (Udelar) y realizó estadias de investigación en el Observatorio Astronómico de Madrid, España, en los Institutos Max-Planck für Aeronomie y für Kernphysik, de Alemania, y en el Observatório do Valongo, de la Universidad Federal de Rio de Janeiro, en Brasil. Su investigación se centra en el área de las ciencias planetarias, cuerpos menores del sistema solar —en particular los cometas— y su relevancia en los procesos de formación planetaria.

# Los peces que «vienen de las nubes»

EN OTOÑO, cuando empiezan las lluvias en la planicie costera del este del país y en las tierras bajas de las cuencas de los ríos Uruguay y Negro, aparecen masas de agua temporales, asociadas al desborde de ríos y arroyos. En ese momento, una peculiar comunidad de seres vivos se desarrolla y acompaña la dinámica de esos ambientes heterogéneos en el espacio y en el tiempo. Los peces anuales son parte de esta comunidad, caracterizada por un rápido crecimiento, apogeo y declive de su población. Durante su ciclo de vida y una vez alcanzada la madurez sexual, los adultos de estas especies se reproducen a diario y luego mueren, justo cuando termina la estación lluviosa y comienza la estación seca. Al año siguiente, con las primeras lluvias otoñales, eclosiona una nueva generación de peces, que reinician el ciclo de vida. La aparición de estos juveniles, a pocas horas de formados los charcos, explica el dicho popular que alude a peces que “vienen de las nubes”. Las especies que presentan este ciclo de vida han sido descritas únicamente en América del Sur y en África.

¿Por qué estos peces pueden sobrevivir los ciclos de sequía? La clave está en los

embriones, que permanecen enterrados en el fondo de los charcos durante la ausencia de agua; son resistentes a la desecación y exhiben un patrón de desarrollo diferente al resto de los peces no anuales. Los distinguen las detenciones reversibles del desarrollo (diapausas), durante las cuales las actividades vitales de los embriones se ven reducidas hasta que los parámetros ambientales vuelven a ser favorables para continuar su crecimiento. La entrada, permanencia y salida de las diapausas están controladas por factores genéticos, que están en constante «diálogo» con factores ambientales.

La existencia de las diapausas —sumada a que son los vertebrados con el ciclo de vida más corto que se conoce, con una etapa adulta de aproximadamente tres meses en algunas especies africanas y de ocho meses en las sudamericanas— los ha convertido en un modelo de investigación privilegiado en estudios de desarrollo embrionario y de envejecimiento, que abarcan los dos extremos de su ciclo de vida.

La resistencia de estos embriones a diversos factores de estrés ambiental, como la falta de agua, de oxígeno (anoxia) y cambios bruscos de temperatura, entre

otros, los convierte en un ejemplo de vertebrados capaces de soportar condiciones extremas (extremófilos). Responder a los interrogantes relacionados con la regulación de las diapausas es un desafío para la ciencia básica, la biotecnología y la biomedicina. Este último aspecto tiene potencial aplicación en la criopreservación de células y tejidos con destino a trasplantes y la búsqueda de nuevas terapias para la recuperación de órganos afectados por estados de hipoxia/anoxia que ocurren durante determinadas patologías.

Las manifestaciones individuales de la senescencia o envejecimiento se detectan en estos peces tanto en la naturaleza como en condiciones de laboratorio, algo que los posiciona como un valioso modelo en estudios de envejecimiento animal. Las altas tasas metabólicas a las que están sometidos durante los períodos de crecimiento rápido han sido vinculadas a la acumulación de daño en el ADN de las mitocondrias (distinto del ADN del núcleo celular) desde estadios tempranos del desarrollo en adelante. Estos hallazgos concuerdan con una de las teorías sobre el envejecimiento animal, que destaca el rol preponderante de

las mitocondrias en el desencadenamiento de estos procesos que conducen a la muerte celular programada. Estas investigaciones, además, sugieren la idea de que el envejecimiento es un proceso continuo e irreversible. Un sorprendente descubrimiento es el genoma «gigante» que poseen las especies de peces anuales del género *Austrolebias*, cuyo tamaño es similar al del genoma humano. Esta cantidad de ADN en los núcleos de las células no tiene antecedentes dentro de los genomas diploides de otros peces de la misma clase hasta ahora reportados. Curiosamente, al igual que en el genoma humano, se constata la presencia de secuencias dispersas de ADN altamente repetido y con capacidad de movilizarse dentro del propio genoma (retrotransposones). En el caso de este género de peces anuales, esto puede haber potenciado la inestabilidad del genoma y la ocurrencia de reordenamientos en los cromosomas, que podrían haber dado origen a nuevas especies durante el Pleistoceno (2,5-0,01 millones de años).

Las poblaciones locales de estas especies, distribuidas en charcos aislados entre sí, están interconectadas por la migración de individuos entre ellos cuando ocurren

inundaciones periódicas. Los efectos acelerados del cambio climático y la irregularidad en los regímenes de lluvias son un gran desafío para las poblaciones nativas de peces anuales, cuyo ciclo de vida depende enteramente de la dinámica temporal de los charcos en los que habitan. Esto requiere estrategias de conservación basadas en el conocimiento de estos organismos, de sus poblaciones y de estudios interdisciplinarios, que permitan comprender el potencial de adaptación de estos organismos con genomas gigantes y dinámicos en relación con condiciones ambientales cambiantes e inestables.

Desde la década de 1960, este grupo de vertebrados ha centrado la atención de apasionados investigadores nacionales e internacionales. El profesor Raúl Vaz-Ferreira, en la antigua Facultad de Humanidades y Ciencias, generó los primeros aportes vinculados a la sistemática y la eco-etología a nivel local.

Desde ese momento y debido a las singularidades de los peces anuales antes mencionadas —a las que se suma una gran variabilidad a nivel morfológico, cromosómico y molecular, y también en los

procesos de neurogénesis—, ha surgido un creciente interés por profundizar en el conocimiento de su biología. La evidente necesidad de un abordaje interdisciplinario ha constituido a estos peces silvestres en un modelo desafiante y novedoso como foco de abordajes en biología del desarrollo, sistemática, evolución, biogeografía, ecología y neurobiología comparada y más recientemente en genómica, transcriptómica y proteómica. La Facultad de Ciencias congrega, a nivel académico, la investigación de todos estos aspectos de manera única y original, integrando además colaboraciones internacionales. ▣

GRACIELA GARCÍA es profesora agregada de Genética Evolutiva en la Facultad de Ciencias. Es licenciada, magíster y doctora en Ciencias Biológicas, investigadora grado 5 del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas (Pediciba) e investigadora Nivel 2 del Sistema Nacional de Investigadores.

MARÍA AREZO es asistente de Biología Celular en la Facultad de Ciencias. Es licenciada, magíster y doctora en Ciencias Biológicas e investigadora grado 3 del Pediciba.

# El ordenamiento ambiental del territorio; desafíos para Uruguay

LAS TRANSFORMACIONES territoriales, vinculadas sobre todo con los cambios en los usos del suelo, constituyen uno de los componentes más importantes del denominado «cambio global». En las últimas décadas se avanzó sustancialmente en la comprensión de la retroalimentación positiva que se genera entre las transformaciones territoriales con otros componentes más conocidos del cambio global, como el efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los bienes de la naturaleza.

Los principales cambios en los usos del suelo en la región templada de Sudamérica ocurren por la sustitución de praderas naturales por cultivos y forestación, con una tasa de sustitución de las praderas naturales que ha tenido un aumento importante en el siglo XXI, impulsada principalmente por condicionantes sociales, políticas y económicas, en particular el alto valor de los *commodities* en el mercado internacional.

Uruguay sigue el patrón regional en materia de transformación de la cobertura y uso de la tierra. La disminución del estado de conservación de los pastizales de las pampas, incluyendo la calidad de los suelos, se ha asociado con la evolución histórica de la

ganadería y de la agricultura. En las últimas dos décadas, el territorio rural de Uruguay ha tenido importantes cambios en su matriz productiva, en los sistemas tecnológicos utilizados y en la tenencia de la tierra, vinculados principalmente con la transformación de los pastizales por la expansión de las actividades agrícola-forestales con el desarrollo de los agronegocios.

Actualmente, la distribución espacial diferencial de las transformaciones, la vulnerabilidad de los territorios y los incrementos de la fragilidad ambiental son objeto de varias reflexiones científicas que, junto a la necesidad de la integración conceptual del problema y la implementación de herramientas operativas de análisis, intentan aportar en la construcción de soluciones aplicables a la gestión ambiental del territorio.

Existe consenso respecto de que la modificación de la matriz productiva es uno de los principales factores que contribuyen al cambio ambiental en una escala global y a determinadas modificaciones ambientales a nivel nacional y local. Especialmente, las manifestaciones de las transformaciones del ciclo del agua (hidrológico) a escala de cuencas hidrográficas se han presentado

como una preocupación de la sociedad uruguaya, y es un tema que la Facultad de Ciencias ha estudiado intensamente. Por ello, se trabaja en evaluaciones sobre la condición de los cuerpos de agua y también en el funcionamiento de todo el territorio que conforma cada cuenca, que a su vez condiciona el funcionamiento del ciclo hidrológico y la calidad del agua superficial y subsuperficial. Comprender cómo se realizan los aportes de nutrientes desde una cuenca hidrográfica hacia un sistema acuático en función de las características físicas de la cuenca, de la cobertura vegetal y de los usos del suelo nos permite determinar cómo inciden en los cuerpos de agua los excesivos aportes de nutrientes procedentes de fuentes puntuales (industrias, áreas urbanas, grandes infraestructuras, minería) y de fuentes no puntuales (usos agrícolas, pecuarios, forestales, silvopastoriles), que se han convertido en un problema que afecta a diversas regiones del país. Estos aportes de nutrientes pueden generar procesos de eutrofización —crecimiento excesivo de plantas y microorganismos—, comprometer la calidad del agua, el suministro de agua potable, afectar a la salud humana y

provocar la pérdida de hábitats naturales y de biodiversidad.

Desde la geografía se propone el ordenamiento ambiental del territorio en cuencas hidrográficas como aporte en la resolución de estos problemas, en el sentido de avanzar hacia la construcción de nuevas estrategias de uso y gestión de los bienes de la naturaleza, buscando articular el aumento de la producción, la conservación, la eficiencia económica y la justicia social y ambiental.

La integralidad de los planes de ordenamiento ambiental del territorio busca identificar las posibilidades de diversificar el uso de los bienes de la naturaleza, diferenciando las particularidades físicas de la cuenca, asociadas a las condiciones sociales e históricas productivas de las regiones para optimizar los programas de conservación del suelo. Por ejemplo: diseñar estrategias que favorezcan la infiltración del agua de lluvia, disminuyendo los riesgos de escorrentía y erosión en las laderas altas y medias, asociadas con planes de gestión en las planicies bajas de las cuencas, y que presten atención al mantenimiento de la productividad vegetal de las zonas inundables y zonas de bordes de los cursos de agua.

La planificación desde el ordenamiento ambiental del territorio en cuencas hidrográficas como unidades espaciales básicas es reconocida a nivel internacional como una herramienta idónea para la resolución de estos problemas. Estas estrategias integran las dimensiones geofísicas, biogeográficas, sociales, económicas y políticas del territorio, en un marco de investigación con participación social para avanzar hacia niveles crecientes de sustentabilidad.

Durante estos 25 años de la Facultad de Ciencias, la geografía ha desarrollado gran cantidad de trabajos, integrando actividades de extensión universitaria con diversidad de actores sociales. Se ha contribuido en la modificación del marco normativo de la gestión del agua en Uruguay, en la construcción de espacios participativos, como los consejos regionales de recursos hídricos y las comisiones de cuencas. En este proceso se han integrado técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica para generar y sistematizar información; también se han publicado materiales de difusión para optimizar la participación de la sociedad en los planes de manejo de las cuencas hídricas, en

el marco del ordenamiento ambiental del territorio. Este período es el comienzo en la construcción de una transición desde sistemas de gestión que generan impactos y conflictos entre producción y conservación, hacia sistemas territoriales que integren producción y conservación y optimicen el desempeño ambiental para lograr mejor calidad de vida para toda la sociedad uruguaya. ▣

Los autores son profesores adjuntos de Geografía del Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias.

MARCEL ACHKAR es licenciado en Geografía (Udelar), magíster en Ciencias Ambientales (Udelar) y doctor en Ciencias Agronómicas (ENSAT, Francia). Integra el Sistema Nacional de Investigadores.

ANA DOMÍNGUEZ es licenciada en Geografía (Udelar), magíster en Estudios de América Latina y doctora en Geografía (Université de Toulouse Le Mirail, Francia).

JOSÉ GUERRERO es licenciado en Ciencias Biológicas y doctor en Biología de la Conservación (Universidad de Málaga, España). Integra el Sistema Nacional de Investigadores. Los tres investigan sobre aspectos multidimensionales del territorio con aplicación de métodos cuantitativos y sistemas de información geográfica.

# Mario W: primer decano de la Facultad de Ciencias

DUDÉ MUCHO sobre la manera de comenzar un artículo sobre Mario Wschebor (3/12/1939-16/9/2011). Ese apellido (judío de origen húngaro) que me costó algún tiempo aprender a escribir pertenece a uno de los científicos que marcaron más nítidamente la historia de la ciencia uruguaya. Tanto su apellido como la persona que queremos recordar no eran sencillos en una primera aproximación. Sin embargo, una vez aprendido el apellido, una vez conocido el personaje, se grababa a fuego por la claridad y generosidad de las ideas que defendía: Wschebor, con doblevé-ese-ce-hache.

Tuve la suerte de compartir con Mario Wschebor una cantidad de actividades universitarias, muchas de ellas relacionadas con la etapa fundacional de la Facultad de Ciencias. Luego, siendo profesor en el Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias ocupé una oficina vecina a la suya. Por las muchas y diversas personas que lo requerían, sumado a que nuestros teléfonos diferían en un dígito (123 el interno de Mario, 122 el mío), yo recibía una pequeña fracción de sus llamadas y un golpeteo en la puerta de mi oficina cuando Mario no estaba. Esa pequeña fracción eran una gran

cantidad de llamadas y contactos. En síntesis, y con todo gusto, actuaba como una especie de secretario, conocía a la mayoría de las personas que lo buscaban y trataba de generar el nexo que se precisaba. Cabe recordar que el celular llegó relativamente tarde para Mario, prácticamente con la llegada de sus nietos, y lo usaba con cierto desdén, lo que hacía mi tarea más intensa.

Por eso dije inmediatamente que sí cuando me pidieron que escribiera sobre el primer decano y uno de los fundadores de la Facultad de Ciencias. Mario Wschebor inspiró la creación de la Facultad, empujó hacia lo imposible, peleó en todos y cada uno de los ámbitos para la concreción del proyecto y timoneó la Facultad en su primer período, imprimiéndole algunas de sus características más positivas, más serias, más profesionales, que permitieron y promovieron el gran salto que experimentó la ciencia uruguaya en los últimos 25 años.

La personalidad de Mario era avasallante. Era portador de una cultura general y política muy profundas. Se inició en la actividad gremial como militante estudiantil; integró el comité de lucha por la Ley Orgánica de 1958, a los 19 años. Provenía de un hogar

en el que se discutía de religión y de política, y allí alimentó su enorme curiosidad y su excepcional capacidad intelectual. Siendo muy joven hizo una pasantía de investigación en Hungría (de donde proviene su primer trabajo científico con Pal Révész) y completó su doctorado en Francia bajo la supervisión del matemático Jean-Pierre Kahane en 1972. Durante el periplo de su vida residió en Buenos Aires, luego en Caracas, y visitó Francia por largos períodos.

Llevar una personalidad tan destacada y a tal altura de responsabilidades era una cosa que le resultaba natural. Por eso nos producía sorpresa, aun después de muchos años de conocerlo y quererlo, descubrir que recordaba y cantaba la letra entera de un tango, o que estaba pendiente de los resultados del fútbol, en particular los que involucraban a Nacional. No eran las conversaciones agudas y cultas las que revelaban la cercanía con él, sino precisamente estas, cuando se permitía mostrarse mundano y nos hacía creer que estábamos contruidos de la misma sustancia.

Mantener una discusión sobre algún tema de política nacional, internacional o universitaria con Mario no era sencillo. No

es que uno tuviese la esperanza de lograr mostrar que tenía razón, sino más bien de resistir y poder expresar sus puntos de vista. Lo guiaba una gran claridad de objetivos generales: la promoción de la ciencia, la calidad de la producción científica, el lugar a los jóvenes que se inician, la democracia en la toma de decisiones y la firmeza con las decisiones tomadas.

Si bien no era visible en un primer momento, tenía una enorme preocupación por los colegas con los que trabajaba. No se permitía tutear a los funcionarios de Facultad, pero los conocía muy bien, y estaba dispuesto a ir muy lejos si se planteaba una necesidad o una situación extraordinaria. Disfruté como docente durante muchos años de ese *modus operandi* de Mario, una vez superada esa barrera que su personalidad imponía, cuando planificábamos juntos (o eso me hacía creer) las actividades del Área de Probabilidad y Estadística en el Centro de Matemática.

Hoy, a cuatro años de su desaparición física, es difícil entender su ausencia: su personalidad está en el centro del estilo de trabajo de la Facultad de Ciencias entera; los cuadros que la dirigen, docentes y funcionarios

que trabajaron con él, reconocen en sí mismos el estilo comprometido y exigente que Mario le imprimió a la Facultad. El enorme edificio de Malvín Norte, que constituyó la base material sobre la que se construyó este colectivo de científicos uruguayos, lleva hoy justamente su nombre. Pero no es sólo cuestión de nombres: la sala de Decanato, el Consejo, las oficinas, los pasillos y hasta el aire de la Facultad están impregnados de sus ideas, su claridad, su generosidad y su entrega para la gran empresa que encabezó desde su inicio: la profesionalización de la ciencia y su participación en los procesos sociales y productivos de cara al Uruguay del siglo XXI. ▣

MORDECKI es profesor titular del Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias. Es licenciado y magíster en Matemática (Universidad de la República) y doctor en Ciencias Físico-Matemáticas por el Instituto Steklov, Moscú, Rusia, investigador grado 5 del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, investigador Nivel 3 del Sistema Nacional de Investigadores (Agencia Nacional de Investigación e Innovación) y miembro de la Academia de Ciencias de Uruguay. Trabaja en procesos estocásticos, estadística, problemas de parada óptima y probabilidades de

ruina, aplicaciones en finanzas y telecomunicaciones. Trabajó con Mario Wschebor desde 1987, a su retorno del exilio. Creó el sitio web memorial sobre Mario Wschebor: <http://www.cmat.edu.uy/~wschebor/>

# Biosensores para automonitoreo y diagnóstico precoz de enfermedades

DETECTAR UNA ENFERMEDAD a tiempo, antes de que aparezcan los primeros síntomas, es una ventaja fundamental: una infección bacteriana antes de que se disemine, un tumor muy pequeño o una enfermedad metabólica previo a que se generen problemas en uno o en varios órganos. Si bien la investigación y el desarrollo científico han potenciado grandes cambios en las terapias y tratamientos disponibles, el éxito terapéutico suele acompañarse de un diagnóstico temprano.

Tomemos el cáncer como ejemplo. Una mujer a la que se le diagnostica cáncer de mama tiene hoy una alta probabilidad (80%-90%) de sobrevivir a la enfermedad. Sin embargo, no ocurre lo mismo, por ejemplo, con el cáncer de páncreas o de pulmón, cuyas probabilidades de supervivencia siguen siendo bajas. ¿Por qué esta diferencia? La razón principal es que mientras que en el primer caso existen métodos de diagnóstico precoz —mamografías periódicas y la autoexploración—, los tumores de órganos internos rara vez se detectan a tiempo.

En general, los tumores no producen dolor en sus primeras etapas y crecen en el organismo sin que lo sepamos. Cuando comienzan a hacerse notar (y provocan que

consultemos al médico), es probable que sean demasiado grandes como para ser extirpados con éxito, o que se hayan diseminado a otros tejidos. Lo mismo vale para otras enfermedades.

La detección a tiempo es la clave en este tema. Y «detección a tiempo» implica análisis de rutina, es decir, análisis periódicos independientemente de si nos sentimos sanos o enfermos. Pero es impensable que nos sometamos a una tomografía computarizada cada seis meses para ver el estado de salud de nuestro páncreas: además de ser insostenible para cualquier sistema de salud, la exposición recurrente a rayos X causaría más daño de lo que ayudaría a prevenir. Los análisis de rutina tienen que ser simples, de bajo costo y lo menos invasivos posible, a partir de muestras de sangre, sudor u orina. La situación ideal sería que pudieran realizarse en la tranquilidad de los hogares, sin la necesidad de tener que asistir a un centro hospitalario.

Convivimos con varios ejemplos de estudios clínicos que se pueden llevar a cabo en casa, sin tener que enviar muestras al laboratorio. Los tests de embarazo detectan la aparición de una hormona que es producida por el embrión y liberada a la sangre y la orina

de la madre. Por otro lado, los glucómetros permiten a las personas diabéticas automonitorear sus niveles de glucosa en sangre, previniendo las complicaciones asociadas a esta enfermedad. Un automonitoreo eficaz implica para algunas personas analizarse tres o más veces al día. Esta frecuencia es viable debido a la existencia de dispositivos automatizados capaces de realizar mediciones clínicas fuera del laboratorio. O mejor dicho: el dispositivo es el laboratorio. Y el laboratorio está en la casa.

## UN LABORATORIO EN EL CELULAR

Imaginemos el potencial de contar con una familia de dispositivos similares a los glucómetros, pero que midan diferentes moléculas de interés clínico de manera simultánea. Imaginemos esta situación: mediante un pinchazo indoloro se extrae una gotita de sangre, que se coloca sobre la superficie de una tira de cerámica con un conjunto de pequeños discos metálicos interconectados en su extremo. Cada disco metálico está especialmente diseñado para ser sensible a determinado compuesto —proteína, lípido, mineral— presente en la sangre. La tira se conecta por su otro extremo a un



pequeño aparato, que transmite datos via *bluetooth* a un *smartphone*. En la pantalla del celular aparecen valores de glucosa, insulina, colesterol, bilirrubina, hierro, incluso con las gráficas de las variaciones en el último día, semana o mes. De pronto irrumpe un mensaje de alerta: “Proteína C Reactiva elevada. Posible infección. Consulte al médico inmediatamente”.

¿Ciencia ficción? Para nada. La base de la tecnología necesaria ya se encuentra disponible desde hace varios años, y es posible vaticinar que dispositivos integrados de este tipo puedan irrumpir en nuestras vidas en el futuro cercano. En la Unidad de Bioquímica Analítica de la Facultad de Ciencias trabajamos para aportar nuevas herramientas que permitan desarrollar este tipo de aparatos, llamados biosensores electroquímicos. Nuestros biosensores distan mucho de lo descrito en el párrafo anterior, pero hacia eso apuntamos.

Conceptualmente, la estrategia es simple. Supongamos que queremos construir un biosensor para detectar infecciones por la bacteria *Salmonella*. Lo primero que hacemos es buscar una molécula biológica capaz de reconocer y unirse a este tipo específico de

bacteria. Los anticuerpos que forman parte de nuestro sistema inmunitario son buenos candidatos: su función es reconocer la superficie bacteriana y unirse fuertemente a ella. Luego, pegamos estas moléculas a microelectrodos de oro o de carbono utilizando un pegamento químico, y tenemos casi pronto el biosensor. Cuando el electrodo se pone en contacto con una gota de sangre, las bacterias presentes —en caso de que las hubiera— quedan retenidas por el anticuerpo, que funciona como el anzuelo de una caña de pescar. Las bacterias unidas liberan luego una enzima que cede electrones al microelectrodo, dando origen a una corriente eléctrica pequeña pero medible. El valor de dicha corriente eléctrica es indicador de la concentración de bacterias en la sangre.

Nuestro trabajo actual se focaliza en la obtención de un biosensor capaz de medir exosomas presentes en la sangre, en un trabajo colaborativo entre la Facultad de Ciencias y el Institut Pasteur de Montevideo. Los exosomas son vesículas pequeñas que muchas células liberan al torrente sanguíneo. En su interior contienen un conjunto de proteínas y ácidos nucleicos que son característicos de las células de las que derivan. Lo

interesante es que las células cancerígenas liberan a la sangre una gran cantidad de exosomas. Si utilizamos anticuerpos específicos para «pescar» estos exosomas tumorales y analizarlos, podríamos obtener un biosensor capaz de detectar tumores en una etapa precoz. Y como decíamos al principio, la detección temprana hace la diferencia en el manejo y tratamiento del cáncer. ▣

JUAN PABLO TOSAR es asistente de la Unidad de Bioquímica Analítica del Centro de Investigaciones Nucleares de la Facultad de Ciencias. Es licenciado en Bioquímica (Universidad de la República) y magíster en Ciencias Biológicas (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Pedeciba). Actualmente realiza su doctorado en Ciencias Biológicas (Pedeciba) en el Institut Pasteur de Montevideo, con una beca doctoral otorgada por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación.

# Agua va: síntomas de nuestros ecosistemas acuáticos

LA INTENSIFICACIÓN de las actividades humanas ha alterado la salud de muchos ecosistemas acuáticos continentales (humedales, lagunas y ríos). Las principales causas son el enriquecimiento del agua con nutrientes (eutrofización), las alteraciones del régimen hidrológico natural y los cambios inducidos en la flora y fauna autóctonas.

Nutrientes como el fósforo y el nitrógeno son utilizados en la agricultura para aumentar la producción vegetal; por lo tanto, la escorrentía que fluye hacia los ecosistemas acuáticos cercanos también la aumenta en estos. Además, la descomposición de la materia orgánica generada por los desechos industriales y las aguas servidas también aporta fósforo y nitrógeno al agua. Esta sobrecarga con nutrientes es utilizada por las plantas acuáticas y los organismos vegetales en suspensión (fitoplancton) para su crecimiento, en particular por las cianobacterias o bacterias fotosintéticas. El crecimiento rápido y desmedido de cianobacterias (denominado floración) afecta a todo el ecosistema acuático, debido a que su aumento, que genera agua verde turbia o espuma, disminuye la penetración de la luz solar, lo que limita la producción de

oxígeno en las capas profundas. Este fenómeno se asocia con la pérdida de biodiversidad, ya que sobreviven solamente los organismos que puedan soportar esas condiciones. Las cianobacterias pueden producir sustancias aromáticas que le confieren mal olor y sabor al agua, así como secretar potentes toxinas (neuro, hepato o dermatoxinas) que afectan a la fauna acuática, a los animales domésticos y a los seres humanos, con efectos agudos y crónicos.

Otras modificaciones de los ecosistemas acuáticos potencian el efecto de la eutrofización. La deforestación de las riberas o la canalización de humedales (consideradas áreas de amortiguación) potencian el aporte de nutrientes, ya que se pierde una barrera natural que retiene la erosión, capta parte del exceso de nutrientes, facilita la infiltración de la escorrentía y potencia la capacidad de autodepuración natural del agua. La alteración del régimen hidrológico por la construcción de embalses aumenta el tiempo de residencia del agua y la estabilidad física del ambiente. Estos factores son fundamentales, por ejemplo, para facilitar el desarrollo de floraciones de cianobacterias. Los grandes embalses generan además otros

efectos negativos sobre la biota acuática, tales como la alteración natural de los ritmos y pulsos de inundación, fundamentales en la reproducción de los peces, y el efecto de fragmentación que compromete la supervivencia de estos organismos. Las represas hidroeléctricas, otrora consideradas fuente de energía limpia, han sido responsables de la extinción de varias especies de peces migratorios y de interés pesquero (dorado, sábalo, boga, surubí, patí) en gran parte del río Negro y su cuenca.

En la última década ocurrieron importantes cambios en la matriz productiva del país, como la intensificación en el uso del suelo y la actividad industrial, la creación de nuevas represas para agua de riego y la deforestación de riberas. Estas prácticas, muchas veces realizadas sin el debido cuidado ambiental, han generado importantes problemas en la calidad del agua. Varios de estos síntomas afectan a los ciudadanos directamente, como el mal sabor y olor del agua, la enfermedad y muerte del ganado a orillas de los embalses, la muerte masiva de peces, playas con alertas sanitarias, etcétera.

Desde la Facultad de Ciencias, con la colaboración de varios investigadores

(de la Facultad de Química y del Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable) e instituciones encargadas del monitoreo de la calidad del agua (Dirección Nacional de Medio Ambiente, OSE, Intendencia de Montevideo), y con apoyo de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación, estamos avanzando en la evaluación del fenómeno de eutrofización en Uruguay. En este contexto ha sido posible obtener información de más de 60 ambientes acuáticos y generar una base de datos unificada desde 1980 a 2014, a pesar de los vacíos de información, particularmente en cuencas del noreste del país.

Uno de los resultados más destacables es el alto nivel de fósforo biodisponible en el agua, en algunos casos hasta dos órdenes de magnitud por encima de la normativa vigente (fósforo total, Decreto 253/79), lo que implica una gran potencialidad de estimular el crecimiento de cianobacterias, principalmente de las fijadoras de nitrógeno atmosférico. Se está evaluando qué especies son las más frecuentes, dónde ocurren, qué toxinas producen y cuáles son las zonas de mayor riesgo de exposición para los ciudadanos. El bajo tiempo de residencia del agua y las condiciones turbulentas y turbias en las riberas de los cursos de agua inhiben su crecimiento, situación que puede revertirse cuando ocurren sequías o cuando los cursos de agua son embalsados. El represamiento de cursos fluviales con agua enriquecida conlleva un alto riesgo de incubación de cianobacterias, incluso en pequeños tajamares, los que pueden funcionar como generadores de inóculos que contaminan los cauces principales.

En la actualidad, estamos avanzando en la implementación de sistemas de alerta temprana de presencia de cianobacterias para el país, mediante tecnologías que permitan un diagnóstico en tiempo real de eventos de floración. Esto potenciará la capacidad de reacción y análisis de riesgo de los tomadores de decisión. El aislamiento en el laboratorio de las cianobacterias tóxicas y el estudio de su ecofisiología nos han permitido investigar los factores ambientales que favorecen su crecimiento explosivo, la producción de toxinas y sus rangos de tolerancia al ambiente. La flexibilidad de las cianobacterias para subsistir condiciones desfavorables del medio desafían los esfuerzos de predicción y mitigación del fenómeno.

A partir de la generación de conocimiento de la diversidad y los patrones de distribución de las especies de peces de agua dulce, y del conocimiento basado en el trabajo en las colecciones científicas de la Facultad de Ciencias y el Museo Nacional de Historia Natural, se han podido documentar los cambios en la riqueza de este grupo de peces en el transcurso del tiempo en diferentes cuencas hidrográficas del país. Este conocimiento, aún incompleto, es básico para evaluar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos y elaborar políticas de conservación de los ecosistemas naturales y su biodiversidad.

La participación ciudadana activa mediante las Comisiones de Cuencas y el acceso público a la información mediante las nuevas tecnologías de comunicación serán fundamentales para avanzar en el diagnóstico, la investigación, la resolución de conflictos para alcanzar la recuperación, la protección y el uso sustentable de nuestros recursos acuáticos. ▣

LUIS AUBRIOT es asistente de la Sección Limnología de la Facultad de Ciencias e investigador Grado 3 de los posgrados en Ciencias Biológicas y Geociencias (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Pedeciba). Es licenciado (Universidad de la República), magister y doctor en Ciencias Biológicas (Pedeciba), con tutoría del Instituto de Limnología de Mondsee (Austria). Integra el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y el Grupo de Ecología y Fisiología de Fitoplancton. Investiga la ecofisiología de cianobacterias, los ciclos de nutrientes y la eutrofización. MARCELO LOUREIRO es profesor adjunto del Departamento de Ecología y Evolución de la Facultad de Ciencias (Udelar), investigador Grado 3 del posgrado en Ciencias Biológicas (Pedeciba) e investigador del SNI. Es licenciado (Udelar), magister (University of Richmond) y doctor en Ciencias Biológicas (Pedeciba). Investiga en diversidad de peces de agua dulce, particularmente en Sistemática y Biogeografía.

# Experiencias tempranas: desarrollo del individuo y neurociencias

EL ENTORNO de los individuos en sus primeros años de vida —el ambiente social temprano— es crítico para el desarrollo saludable de su sistema nervioso. Evidencias provenientes de estudios en roedores y primates muestran que la privación y la inestabilidad del ambiente social temprano contribuyen en gran medida al origen de múltiples desórdenes emocionales y cognitivos.

Durante la etapa prenatal y los primeros períodos luego del nacimiento se establece el mayor número de conexiones neuronales, que luego se irán esculpiendo, refinando y especializando como parte del proceso de maduración del sistema nervioso. Se trata de un momento de gran plasticidad, en el que el cerebro es sumamente permeable a los efectos ambientales, tanto negativos como positivos, y, por lo tanto, su desarrollo depende de las condiciones que se den en ese momento de la vida. Dentro de lo que denominamos ambiente social temprano en los mamíferos, y por supuesto en los seres humanos, el vínculo con los padres —o los cuidadores principales— y los cuidados recibidos cobran singular importancia. El cuidado parental implica una serie

de interacciones que trascienden la función alimenticia y que establecen un vínculo que modela fuertemente el desarrollo cognitivo y emocional de los individuos.

En estudios sobre roedores se ha visto que la separación maternal afecta la formación del vínculo madre-cría, produce elevados niveles de estrés en las crías y altera su desarrollo. Estos efectos generan consecuencias a nivel comportamental, neuroquímico e inmunológico que son detectables aun en la etapa adulta.

De forma similar, numerosas evidencias clínicas muestran que para los seres humanos un ambiente temprano protector y estimulante es necesario para el desarrollo saludable del sistema nervioso y la expresión de todo el potencial de las capacidades cognitivas, sociales y emocionales de los niños. La separación temprana o situaciones que afectan el vínculo parental, como el abandono, la negligencia o el abuso físico o emocional, aumentan la probabilidad de sufrir disfunciones cognitivas y enfermedades psiquiátricas, tanto en la infancia como en la edad adulta.

Estas evidencias acumuladas en las últimas décadas revelan que nuestro cerebro

es un órgano social cuyo desarrollo depende de forma crítica de las interacciones con otros individuos desde etapas muy tempranas de la vida. Desde esta perspectiva, el grupo de investigación en neurobiología de los comportamientos afiliativos que funciona en la Facultad de Ciencias investiga y aporta al conocimiento de las bases biológicas del comportamiento parental —el primer vínculo social que establecen los individuos— y cómo este influye en diferentes aspectos del desarrollo cognitivo, emocional y fisiológico de las crías.

Al estudiar variaciones en el comportamiento de las ratas madres demostramos que este modula la fisiología de las crías y que las variaciones o «estilos maternos» se transmiten de generación en generación. Al mismo tiempo, las diferentes características y demandas de las crías determinan el comportamiento de la madre. Esto evidencia el carácter bidireccional del vínculo materno-filial y destaca el concepto de que tanto cuidadores como hijos son parte de una díada indisociable, que debe ser estudiada en conjunto.

A la vez, es necesario abordar el vínculo madre-cría considerando el ambiente en

el que este ocurre. En el laboratorio podemos, por ejemplo, variar la composición del «ambiente familiar temprano» durante los primeros días de vida. De esa manera, comparamos experimentalmente dos situaciones: en una de ellas las ratas madres conviven con una camada de crías de la misma edad; en otra, con crías recién nacidas y sus hermanos mayores de camadas anteriores. Esta última situación de «enriquecimiento social» induce cambios en el comportamiento de la madre y de los juveniles que comienzan a cuidar a sus hermanos. Este ambiente enriquecido también modifica el desarrollo de ambos tipos de crías e induce efectos duraderos; por ejemplo, estos animales muestran una menor respuesta hormonal de estrés cuando son sometidos a estímulos estresantes durante la edad adulta.

En muchos mamíferos el «ambiente materno» es la principal fuente de estímulos para las crías durante los primeros días de vida. Es la madre, por medio de su comportamiento materno, la que «traduce» la información del ambiente a las crías. En nuestro laboratorio demostramos que una situación de estrés social para la rata madre, como la presencia de un individuo extraño

cerca del nido durante los primeros días de lactancia, genera respuestas de agresión hacia este y altera el cuidado de las crías. Este ambiente materno estresante induce en las crías la maduración precoz de áreas del cerebro involucradas en la respuesta de miedo, un factor de estrés normalmente ausente en crías pequeñas.

Estos resultados nos conducen a una de las preguntas que nos ocupan actualmente: ¿es posible prevenir o revertir el desarrollo precoz de las respuestas de miedo enriqueciendo el ambiente social donde se desarrolla la interacción madre-cría?

A partir de estos experimentos y de evidencia proveniente de otras investigaciones básicas, entendemos el desarrollo del cerebro como un proceso temporalmente dinámico que ocurre en un contexto social determinado. Por esta razón, en la planificación de intervenciones que intenten prevenir o revertir las «huellas» originadas por experiencias tempranas adversas, es fundamental considerar el cómo y el cuándo de estas.

En este sentido, consideramos que las neurociencias tienen mucho que aportar al análisis crítico de los contenidos y formas de implementación de políticas públicas

para la primera infancia y sus cuidadores, mediante investigaciones clínicas y en educación, así como por medio de investigaciones básicas como las que se realizan en la Facultad de Ciencias. ▣

NATALIA URIARTE BÁLSAMO es asistente del Laboratorio de Neurociencias de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (Udelar). Es licenciada en Ciencias Biológicas (Udelar), realizó su maestría en Biología (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, Pedeciba) y se doctoró en Biología en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). Es investigadora del Pedeciba e integra el Sistema Nacional de Investigadores.

# La física y la música

¿ES POSIBLE que las leyes del mundo estén escritas en un lenguaje comprensible para los humanos? ¿Es posible que las matemáticas estén detrás de todos los fenómenos de la naturaleza? Es difícil dar una respuesta definitiva a estas preguntas, pero la física es una disciplina que intenta llevar esta posibilidad hasta el límite.

Curiosamente, la primera corriente de pensamiento de la que tenemos registro que adhirió a este credo surgió hace unos 2.400 años, en Grecia. Cuenta la leyenda que un hombre que había sido un gran pugilista en las Olimpíadas pasaba cerca de una herrería cuando le llamó la atención la diferencia de tono de los sonidos generados al golpear en yunques de distintos tamaños. ¿Habría alguna regularidad oculta en ese hecho? Luego, experimentando con cuerdas de distintas longitudes, encontró interesantes regularidades matemáticas que generaban combinaciones de sonidos agradables. A partir de allí, los pitagóricos tomaron como uno de sus dogmas el poder de las matemáticas para describir el mundo. El desarrollo de la física (y prácticamente de todas las ciencias) muestra la fertilidad de esta idea, aunque no

necesariamente su validez última. Podemos decir, entonces, que el estudio de la música y la física tienen un origen común.

En mi experiencia como investigador y divulgador científico del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias, esa unión me llegó de un modo bastante particular. En 2008, publicamos junto con mi amigo y colaborador Andrés Rinderknecht (curador de paleontología del Museo Nacional de Historia Natural) un artículo sobre la posibilidad de comunicación por infrasonidos, cuya frecuencia no es audible por el oído humano, entre grandes perezosos fósiles extinguidos hace unos 10.000 años. ¿Cómo es esto posible si, al decir de Andrés, los sonidos no se fosilizan? Es cierto, pero los huesos del oído medio (yunque, estribo y martillo) sí lo pueden hacer, así como estructuras del cráneo relacionadas con la producción de sonido. En aquel trabajo, usamos precisamente métodos físico-matemáticos para determinar las frecuencias que estos animales habrían escuchado, así como las que habrían emitido con eficiencia. Los resultados mostraron una coincidencia entre ambas y que además esas frecuencias correspondían a las de sonidos

muy graves. Estos sonidos son adecuados para la comunicación a larga distancia, ya que son muy poco afectados por los accidentes del entorno e incluso pueden generar ondas sísmicas de superficie que, en ciertas condiciones, viajan en forma más eficiente que el sonido en el aire. Existe numerosa evidencia de que un mecanismo similar es utilizado por los elefantes actuales para comunicarse a larga distancia.

En trabajos posteriores comprobamos que esto también ocurre en perezosos de distintos tamaños. Que las frecuencias sean similares en animales de tamaños muy distintos muestra que lo importante no es el tamaño del animal (algo que suele determinar el tono de la voz de un mamífero), sino ajustar sus llamadas a las frecuencias que mejor pueden viajar largas distancias. También publicamos con mi amigo biólogo y colaborador Washington Jones un trabajo más reciente (2014) en el que estudiamos perezosos más antiguos y pequeños. Allí también encontramos similares adaptaciones para la comunicación en algunas especies.

Todo esto parece un trabajo detectivesco interesante, pero ¿qué mensaje más

profundo y relevante ocultan estos animales al enviar desde la prehistoria sus cantos infrasónicos a través de las praderas sudamericanas? Para eso es necesario ir un poquito más allá del trabajo científico. Fue así que, al hablar de estos animales y sus cantos en distintas charlas de divulgación, empezamos a recurrir a instrumentos musicales que representaran las características de sus sonidos pero que también transmitieran algo de la emoción asociada. Comenzamos a leer sobre cómo los animales usan los sonidos y qué intentan comunicar. Hay desde llamados de alerta por la presencia de predadores hasta avisos de la presencia de fuentes de agua, pasando, por supuesto, por los cantos de cortejo para atraer a una potencial pareja sexual. Y en las vocalizaciones de los mamíferos parece haber ciertas características universales que se pueden vincular con el tipo de emoción que las genera. Todo esto nos llevó inevitablemente a la música humana y su capacidad para codificar y generar emociones, y a interesarnos en la mirada que la ciencia nos ofrece sobre fenómenos de la música popular, como la de The Beatles.

La relación ciencia-música de los Beatles ha inspirado múltiples reflexiones y diversas acciones, desde el estudio del acorde inicial de «A Hard Day's Night» por métodos matemáticos hasta el envío a la estrella polar de la canción «Across the Universe» codificada en ondas de radio, o el análisis de la ciencia del sueño relacionado con la creación de «Yesterday» y la relación de los Beatles con la tecnología de las tomografías. Pero lo más interesante es analizar el paralelismo entre los tópicos de las canciones de los Beatles y los motivos que hacen de la música un rasgo relevante en la evolución de nuestra especie. Y así es que consideramos a la música como un lenguaje emocional primitivo, como herramienta de cortejo, como canción de cuna y como elemento de cohesión de los grupos humanos. Como escribí en el libro *Los Beatles y la ciencia*: «Considerar a los Beatles desde la perspectiva de la ciencia es descubrir que estamos frente a una encarnación moderna de algo muy antiguo. El ritmo, el canto, el baile, las emociones y pensar acerca del mundo parecen cosas tan inevitables para los seres humanos como el latido del corazón, la respiración y las

sensaciones que despierta una brisa sobre nuestra piel. Me gusta creer que el pasado remoto, nuestra esencia se comunica con nosotros a través de la música y también de la ciencia». ■

ERNESTO BLANCO es profesor agregado del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de la República (Udelar). Es licenciado, magíster y doctor en Física (Udelar) e investigador nivel II del Sistema Nacional de Investigadores de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación. Investiga fundamentalmente en temas de paleobiomecánica. Es divulgador científico y ha sido coguionista y conductor de los programas emitidos por TNU *Superhéroes de la física* (2011, 2013) y *Paleodetectives* (2015). Es autor del libro *Los Beatles y la ciencia* (2015), de la colección Ciencia que ladra, de la editorial Siglo XXI.

# La ciencia y los científicos para el país de mañana

*En memoria de Mario Wschebor*

EL CUARTO DE SIGLO de la Facultad de Ciencias es más que el aniversario de la creación de la institución. En efecto, no puede verse aislado del proceso que se desarrolló en el país para construir una capacidad científica propia, luego de la recuperación de la democracia. Ese camino estuvo marcado por una confluencia de esfuerzos institucionales y de la propia comunidad científica, así como por iniciativas diversas desde el Estado que acompañaron ese proceso.

Dos componentes centrales estuvieron en los orígenes de la Facultad de Ciencias. Por un lado, la creación y los primeros pasos del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas, cuyo gran acierto (que le hace mantener su plena vigencia y fortaleza en el presente) fue definir como punto central para el desarrollo científico nacional la formación de investigadores, por medio de programas de maestrías y doctorados con las mayores exigencias de calidad. Por otro lado, y en paralelo, debe recordarse el proceso de reconstrucción de la Universidad de la República, que enfatizó desde el inicio la

necesidad de desarrollar y fortalecer su capacidad científica. También vale destacar la política de estímulo a las dedicaciones totales (acotada sistemáticamente por las limitaciones presupuestales) y la creación de la Comisión Sectorial de Investigación Científica, verdadero pilar del desarrollo de las capacidades de creación de conocimiento y formación de investigadores de la Universidad de la República.

Los cinco lustros transcurridos encuentran hoy al país con una plataforma científica de calidad reconocida internacionalmente, con una importante capacidad de formación de profesionales científicos de alto nivel y un firme compromiso con el país.

Las proyecciones para un futuro cercano a partir de los avances actuales de la ciencia y sus aplicaciones, en todas las áreas, generan formidables promesas. En los próximos años seguiremos siendo testigos de grandes y profundas transformaciones en las capacidades de acción del ser humano sobre sí mismo y sobre la comunidad y la naturaleza, en el sentido más amplio. Al mismo tiempo, los cambios tecnológicos y el desarrollo de las ciencias de la información seguirán provocando profundos cambios en la vida de las personas

y las sociedades, con un alto impacto en los referentes culturales y en la vida cotidiana. En paralelo, se profundizará la relación entre la riqueza de las sociedades y las capacidades de creación de conocimientos y se incrementarán las distancias entre las sociedades y las personas por las diferencias de acceso y de uso socialmente valioso de estos. Las opciones de hoy le darán forma a nuestro futuro.

¿Cómo construir un país de conocimientos? El país de conocimientos es un país que vale por las capacidades de su gente. Es un país de educación, de cultura y de convivencia. Es un país donde la ciencia se asume como parte de la cultura, donde existe una verdadera apropiación social de la ciencia y de sus aplicaciones. La tecnología implica una combinación de saberes, un vínculo fértil entre el ser humano, los conocimientos que crea y las herramientas que construye. Más allá, la creación de riqueza en una sociedad, apoyada en la creación y la innovación, requiere una confluencia de actores y oportunidades.

¿Cuánto y cómo apostar a ese futuro? ¿Utopía en su sentido pleno de país imaginario? En los tiempos de la creación de la Facultad de Ciencias, había quien afirmaba



que hacer ciencia en Uruguay era una utopía. La respuesta de la pequeña comunidad científica de entonces, de los jóvenes que osaron emprender ese camino cuando aún no había certezas, y de un puñado de actores institucionales, gubernamentales y sociales, fue que la utopía era pensar en un futuro para el país sin ciencia.

Hoy Uruguay está en el mapa de la ciencia del siglo XXI. Decir ciencia es decir ciencia de calidad; un pequeño país de recursos limitados no puede darse el lujo de hacer ciencia que no sea de la más alta calidad. Científicos uruguayos son reconocidos y distinguidos a nivel internacional; sus trabajos son difundidos por las revistas especializadas internacionales más prestigiosas; los jóvenes científicos formados en el país tienen altos desempeños en sus estadías en centros de excelencia. Al mismo tiempo, en forma creciente, aunque aún con respuestas empresariales limitadas, el quehacer científico uruguayo está cerca de las aplicaciones, de la innovación y de los problemas del país. La promesa de un incremento significativo de los recursos que el país dedica a la ciencia y la tecnología encuentra a la plataforma científica nacional en condiciones de un cambio cualitativo de significación.

Mirando el camino recorrido y mirando al futuro, destacaríamos en particular tres puntos gravitantes para las opciones de estos tiempos.

En primer lugar, la importancia de las instituciones y de la institucionalidad. Se requiere alta flexibilidad —institucional, social, política—, para asumir los desafíos de hoy. En ese sentido, precisamos profundizar la vocación de instituciones generosas, abiertas, que se complementen y renueven.

Ello requiere un cambio de cultura institucional. Además se requiere el nacimiento de nuevas instituciones de cara al siglo XXI en diversas áreas de carácter estratégico, diseñadas en el territorio, vinculadas a proyectos de desarrollo territorial y a nuevas propuestas de formación.

En segundo lugar, no debería ser necesario destacar el rol de las nuevas generaciones; sin embargo, cada nueva etapa requiere hacerlo nuevamente. Los jóvenes, primero durante su trabajo de tesis de posgrado, luego como incipientes investigadores independientes en su posdoctorado, son uno de los motores principales del quehacer científico. La producción científica nacional, como ocurre en todo lugar, sigue exactamente la curva de evolución de las maestrías y doctorados. Becas primero, diversos contratos luego, son en general la norma, siendo la excepción las oportunidades de trabajo estable. La expectativa de la apertura del mundo empresarial a los jóvenes con perfiles científicos se va cumpliendo todavía de manera muy limitada. Es interesante destacar que cada vez más jóvenes científicos optan ellos mismos por un camino de desarrollo empresarial, en orientaciones de base científico-tecnológica muy diversas. Nuestros científicos jóvenes representan una enorme riqueza para un país que necesita más profesionales de la ciencia. En efecto, a pesar de los importantes avances logrados, estamos, incluso si nos comparamos con los países de la región, aún lejos del número de científicos por habitante que requiere una sociedad de conocimientos.

En tercer lugar, estos tiempos requieren un nuevo compromiso de la ciencia con la sociedad y de la sociedad con la ciencia. Un

compromiso que fortalezca a la ciencia como componente de la cultura, necesario para alcanzar una ciudadanía plena en el mundo de hoy; que permita su aporte pleno a la educación a todo nivel, desde los años de formación básica a la formación de los profesionales en las áreas científicas, lo que constituye un desafío mayor en estos tiempos; finalmente, que abra los más amplios cauces para las confluencias necesarias para el desarrollo tecnológico, la innovación y la creación de riqueza en nuestra sociedad. Ese compromiso debe acompañar un significativo incremento de la inversión nacional —pública y privada— en ciencia y tecnología. El camino recorrido constituye una garantía del retorno social de ese esfuerzo.

En el contexto descrito, la Facultad de Ciencias de los próximos años tiene formidables desafíos, al lado del conjunto de instituciones científicas nacionales. En estos 25 años ha dado su medida. Hacia adelante, puede y debe contribuir a explorar nuevos caminos institucionales, los caminos requeridos para fortalecer la comunidad científica nacional y su compromiso con el país. ▣

RICARDO EHRLICH es profesor de Bioquímica en la Facultad de Ciencias y preside actualmente el Consejo de Administración del Institut Pasteur de Montevideo. Es doctor en Ciencias por la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo (Francia) y ha sido investigador del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia. Fue decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (1998-2005), intendente de Montevideo (2005-2010) y ministro de Educación y Cultura (2010-2015). Sus líneas de investigación se han centrado en el estudio de mecanismos de control y regulación de la expresión génica.

# Esa pasión

EN SETIEMBRE de 1924, el diario *El País* publicó una entrevista al filósofo español Miguel de Unamuno, realizado por su entonces corresponsal en París —que unos años después se convertiría en un faro del periodismo latinoamericano—, Carlos Quijano.

No fue la única personalidad destacada del mundo intelectual que conoció Quijano durante su estadía en Francia, adonde viajó después de recibirse de abogado, y con honores, en nuestra Facultad de Derecho, para completar estudios en ciencia política y en economía. Quien luego fundaría *Marcha* coincidió en ese país con personalidades como el peruano Raúl Haya de la Torre, los guatemaltecos Juan José Arévalo y Miguel Ángel Asturias, el venezolano Rómulo Bentancourt y el argentino José Ingenieros, entre otros. Teniendo en cuenta lo que significarían estos nombres en la historia latinoamericana de las décadas siguientes —incluyendo a Quijano, claro— es posible concluir que la capital francesa alojó en esos años debates intensos y fermentales para este continente.

La conversación entre Quijano y Unamuno —por aquellos días, además, recién destituido de la Universidad de

Salamanca, como consecuencia de sus críticas al dictador Primo de Rivera— tuvo ese telón de fondo, ese aire de época. No es un reportaje tan conocido; lo rescató hace unos años el periodista César di Candia en el libro *Grandes entrevistas uruguayas*, y vale la pena leerlo completo. Primero, porque Unamuno demuestra ser un gran conocedor de la cultura rioplatense (hay menciones a Carlos Vaz Ferreira, José Enrique Rodó, Juana de Ibarbourou, Domingo Sarmiento, y hasta un aporte sobre la presencia de los modismos extremeños en el *Martín Fierro*), pero también por otras reflexiones filosóficas, más universales. Una de ellas me pareció oportuna para esta última columna de la serie que publicamos en *la diaria* como parte de los festejos por los 25 años de la fundación de la Facultad de Ciencias.

En un pasaje de la entrevista, Unamuno hace referencia a los cruces entre disciplinas —su planteo original es que tanto la *Lógica* de Hegel como *El capital* de Marx son epopeyas, al igual que *La odisea*— y se detiene especialmente en el caso del biólogo Claude Bernard (1813-1878), un investigador del Museo de Historia Natural

de Francia, reconocido por sus contribuciones a la ciencia médica y también por sus incursiones en la literatura y en la filosofía de las ciencias. A propósito de estos vínculos, dice Unamuno, desde su faceta más temperamental y vasca: «La ciencia debe estar llena de pasión. Que le pregunten a Bernard, por ejemplo, si no la tenía. Lo otro, lo que no tiene pasión, no es ciencia: es una cochinateda de los que llaman y se llaman sabios».<sup>1</sup>

Al realizar el trabajo y la coordinación con la Facultad de Ciencias, desde *la diaria* descubrimos algo que quizá sospechábamos y que afortunadamente pudimos confirmar: dentro de ese edificio enorme de Malvín Norte hay un grupo de gente que le pone mucha pasión a todo lo que hace. Y no solamente eso, que puede ser una condición necesaria pero no siempre suficiente, sino que además lo hacen muy bien. En estos meses de intercambios —las columnas fueron publicadas entre junio y noviembre— comprobamos que en Uruguay se hace ciencia de calidad, que se publica en destacadas revistas internacionales y que se genera conocimiento propio en áreas fundamentales para el desarrollo del país. No

vale la pena enumerarlas; algunas de esas investigaciones están esbozadas en las columnas que publicamos cada viernes y que ahora se compilan en este libro.

También empezamos a transitar un interesante camino de doble vía. El periodismo y la ciencia, si logran llevarse bien, pueden andar juntos, y, en algún punto, es necesario que esa relación funcione. Sería bueno para todos.

Otra sorpresa fue la buena respuesta que tuvieron estos artículos entre los lectores. Algunos antecedentes, como la buena concurrencia a las actividades y ferias que organiza la Facultad de Ciencias, eran pistas interesantes, pero esto también lo pudimos confirmar: hay una avidez creciente en la sociedad por estos temas, y esa sí que es una buena noticia.

En definitiva, quedamos muy satisfechos con esta experiencia y queremos seguir por este camino; ojalá que en el futuro logremos nuevas articulaciones que permitan divulgar qué están haciendo los científicos uruguayos. Resta agradecer a la comunidad de la Facultad de Ciencias (autoridades, comisión editora de las columnas y responsables de comunicación) por

la calidad de los contenidos que aportaron y por la confianza que tuvieron en *la diaria* para concretar esta iniciativa. Pero, sobre todo, por enseñarnos algo importante: sin pasión por lo que hacemos no hay transformaciones posibles, en ningún laboratorio. ▣

#### NOTA

1. Para ser justos: Unamuno también es responsable de otra expresión vinculada a la relación entre ciencia y sociedad, bastante menos feliz, por cierto. En una polémica con José Ortega y Gasset, dijo «¡Que inventen ellos», como forma de defender determinadas cualidades de España (el arte, la literatura, la música, la danza) frente al poderío de otras naciones más avanzadas en su desarrollo tecnológico, como Inglaterra. Unamuno argumentaba, y en esto más vale no tomarlo como referencia, que la luz eléctrica alumbraba en su casa con la misma intensidad que en el lugar donde la habían inventado.

LUCAS SILVA es director periodístico de *la diaria* desde febrero de 2014. Antes fue editor de las secciones Economía y Política; también integra el consejo de redacción de la revista *Lento*. Es licenciado en Ciencias de la Comunicación por la Universidad de la República y estudió historia en el Instituto de Profesores Artigas.





# La Facultad de Ciencias y su mirada para los próximos 25 años

LA ACTIVIDAD se llevó a cabo el martes 29 de setiembre en el salón de actos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República. La institución universitaria aprovechó la celebración de sus 25 años para plantear otra pregunta, más prospectiva: ¿cómo serán la Facultad de Ciencias y las ciencias en Uruguay dentro de 25 años? Estuvieron Lucía Pittaluga, de la Dirección de Planificación Estratégica de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto; Cecilia Alonso, egresada de la Facultad de Ciencias y docente del Centro Universitario Regional Este; Rodolfo Gambini, presidente de la Academia Nacional de Ciencia; Juan Cristina, decano de la Facultad de Ciencias, y Ana Denicola, investigadora y docente de la Facultad de Ciencias, que moderó la charla.

Cristina empezó hablando de los cálculos, frecuentes en algunas notas de prensa, sobre los costos monetarios de la formación de los estudiantes de la Universidad de la República. «En ellos se intuye, si esa es la intención, que los estudiantes de ciencias salen caros. Si bien no sé si estoy de acuerdo con esos cálculos, porque incluso podría pensar que son mayores, la verdad es que formar científicos no es barato, ni aquí ni en Alemania, Estados Unidos o Japón», sostuvo.

El decano señaló, de todas maneras, que esa eventual crítica apenas demuestra que se trata del camino correcto, entre otras cosas porque los principales Estados modernos destinan cuantiosos fondos públicos para la formación de sus científicos. «Hay una diferencia significativa entre gasto (que parecería ser el concepto que domina nuestras culturas latinas) e inversión, que es el concepto que dominan los países del primer mundo», comparó.

Cristina habló, basándose en lo que plantean algunos economistas, de tres tipos de países: aquellos que sólo producen algunas materias primas (PIB realmente bajo y sin posibilidades de crecer), los que especializan algún sector exportador (PIB mayor que el anterior, pero insuficiente para dar un salto cualitativo definitorio) y los que incorporan conocimiento, que llegan a PIB mayores. «Este es el siglo XXI. Invertir en incorporación de conocimiento resulta fundamental; ya no basta simplemente con tener materias primas o ser una plaza financiera. Entender el futuro de la ciencia es entender el futuro del país en el siglo XXI», manifestó.

## EL QUE QUIERE CELESTE

Después puso ejemplos concretos de grandes inversiones: recordó que Estados Unidos, en la década del 90, invirtió 3.000 millones de dólares en el proyecto Genoma Humano, y ahora, cuando todavía se sienten las consecuencias de la crisis inmobiliaria, destinará una suma similar para otro proyecto científico: The Brain Initiative, la iniciativa del cerebro.

«Lo hacen porque nuevamente están convencidos de que el *driving* industrial del siglo XXI es por medio de la ciencia. ¿Es lógico que Europa gaste 1.700 millones de euros en la construcción de un gran colisionador de hadrones, cuyo coste anual de funcionamiento, en cifras de 2012, es de 220 millones de euros, y que sólo en electricidad gasta 18 millones de euros por año? ¿Por qué invierten estas cifras en un período de crisis? ¿Es simplemente para confirmar si existe una partícula subatómica o si hay más violaciones de simetría entre la materia y la antimateria?»

preguntó Cristina. La respuesta no se hizo esperar: invierten porque están convencidos de que el futuro de la ciencia es el futuro en el siglo XXI.

Después pasó al plano nacional y expuso algunas cifras. Recordó que la Universidad produce 80% del conocimiento original de Uruguay y tiene 77% de las unidades de investigación; también recalcó que las tecnologías de los instrumentos científicos que se utilizan en los laboratorios cambian cada diez años. «En los últimos cinco hemos comprado muy poco, y si no compramos nada en los próximos cinco años, debemos ser conscientes de que no vamos en el mismo sentido que el mundo desarrollado», señaló.

Continuó con ejemplos de cambios que se han registrado en el mundo, para los que hay que estar preparados: «La vida media de una empresa en 1920 era de 67 años, la vida media de una empresa en 2014 era de 15. En diez años, 40% de las primeras 500 empresas del índice Standard & Poor's no estarán en el mercado. Se estima que para 2034, 47% de los trabajos serán automatizados».

### UN PASEO POR LAS AULAS

En materia educativa, Cristina trazó algunas comparaciones: en 1963 ingresaron a la Universidad menos de 4.000 estudiantes, mientras que en 2015 lo hicieron más de 22.000. En 1960 la matrícula era de 13.791 estudiantes y en 2009 ascendía a 97.881. «¿Es esta la situación de un país ajeno al mundo actual? ¿Es esto nuevo en el mundo? Por supuesto que no. Hace 100 años sólo 8,5% de los ciudadanos estadounidenses de 17 años tenía un diploma de enseñanza secundaria y sólo 2% de ellos tenía un título universitario a los 23», comparó.

Pero hay otras cifras que deberían preocupar. En Uruguay apenas 40% de los estudiantes que deberían ser la población objetivo para continuar estudios terciarios termina efectivamente la enseñanza secundaria; de estos, en esa bisagra entre la enseñanza secundaria y el primer año de la universidad, existe una desvinculación de al menos otro 35%.

El decano continuó con más datos: las sociedades más desarrolladas tienen 2% de la población económicamente activa dedicada a investigación y desarrollo (I+D), sector que generará los puestos de trabajo genuinos en la sociedad del conocimiento del siglo XXI, pero Uruguay, contando todo el Sistema Nacional de

Investigadores, apenas llega a 2 por 1.000. «La educación debe estar centrada en el futuro, en nuestra capacidad de anticiparnos a los problemas y de proyectarla a lo que estimamos posible. Los temas educativos son complejos y sus logros no se ven a corto plazo. Mirar hacia atrás, reducir el problema a buscar culpables, no nos permitirá trabajar con docentes y estudiantes en encontrar nuestros caminos de futuro. Esta es una importante meta, y trabajando juntos podemos lograrla. Como decía Joaquín Torres García: “Ya no basta tener aquella formación sólida y más o menos repetir lo que hicimos, es mucho más lo que tenemos que hacer”», concluyó.

### DESDE LA ACADEMIA

Gambini, en tanto, planteó que uno de los mayores desafíos que enfrenta la ciencia en el futuro tiene que ver con la necesidad de incrementar la demanda y la incorporación de ciencia, tecnología e innovación en todos los niveles de la actividad nacional. Puso algunos ejemplos exitosos de generación de capacidades en áreas que eran muy débiles o inexistentes hace algunas décadas, como la oceanografía biológica y los recursos pesqueros, la informática, la climatología, la energía, el desarrollo de políticas de uso y protección de suelos, la sociología y economía de la pobreza, o el fortalecimiento de la base científica de temáticas asociadas al sector agropecuario. «Estos desarrollos se basan, por lo general, en avances científicos realizados en el país y en una estrecha colaboración entre el sector académico y diversos organismos públicos. Ejemplos como estos deben multiplicarse», apuntó.

Sin embargo, según Gambini, Uruguay todavía «no logra tener una institucionalidad científica medianamente funcional», y si bien el actual gobierno inició su gestión con «anuncios muy auspiciosos», esas expectativas se vieron luego «defraudadas» por la propuesta institucional incluida en el proyecto de ley del Sistema Nacional de Competitividad. Este proyecto, según dijo, implícitamente incluía a la ciencia y la tecnología como «meras herramientas» para alcanzar un objetivo económico «muy restrictivo». En este sentido, señaló que existen «múltiples iniciativas, en muchos casos incoherentes y hasta contradictorias, acerca de la organización institucional de la ciencia, la tecnología y la innovación». «Si bien el gobierno incluyó en el proyecto de ley de Presupuesto un artículo que crea una Secretaría de Ciencia y Tecnología, este no establece en forma clara

sus competencias y articulación con el sistema científico. Los intentos fallidos de este último año no hacen más que poner en evidencia la necesidad de una institución con rango ministerial que se ocupe de los temas de ciencia y tecnología», agregó.

Además Gambini planteó que aún no se han establecido «políticas consistentes y deliberadas» para incorporar ciencia y tecnología en las múltiples actividades del Estado. Mencionó, a modo de ejemplo, el «desinterés» del Ministerio de Salud Pública en apoyar políticas sectoriales en salud, a pesar de contar con centros de investigación de primer nivel, como el Institut Pasteur o el Centro de Investigaciones Biomédicas. «Por otra parte, muchas reparticiones del Estado vinculadas con la actividad científica en áreas como el medioambiente, los recursos acuáticos, la minería o la meteorología están aún lejos de disponer de las capacidades científicas requeridas para cumplir cabalmente con sus cometidos», dijo.

El presidente de la Academia Nacional de Ciencias del Uruguay consideró que los niveles «sistemáticamente insuficientes de inversión en el sector no están a la altura de las necesidades», a pesar de los anuncios y compromisos interpartidarios tendientes a incrementar las partidas presupuestales para investigación y desarrollo. «Las restricciones son particularmente significativas para las ciencias básicas, como lo demuestra el gran número de proyectos excelentes que no pueden ser aprobados por falta de recursos en los llamados de la ANII [Agencia Nacional de Investigación e Innovación]», se quejó.

Otra carencia marcada por el especialista: la necesidad de que el Estado incorpore en su matriz productiva nuevos productos y procesos con alto valor agregado, una línea de trabajo que han incorporado exitosamente países como Estados Unidos y Corea. «En Uruguay también tenemos algún ejemplo exitoso que debería reproducirse, como el de las energías no renovables. La experiencia internacional y nacional indica, a mi entender, que el éxito de estos emprendimientos depende de una elección adecuada de las áreas a impulsar y de la consistencia y sostenibilidad de las políticas de promoción aplicadas. Un aspecto esencial que ha estado ligado al éxito o fracaso de estas apuestas a largo plazo en países como Corea o Finlandia ha sido el de priorizar áreas cuyo dinamismo probablemente se mantendrá por décadas. Por ejemplo, la robótica, las nanotecnologías o las bioingenierías, que seguramente formarán parte de las tecnologías del siglo XXI», concluyó Gambini.

## EN EL TERRITORIO

Pittaluga, por su parte, habló de la prospectiva como una herramienta que permite generar «alianzas para la acción» mediante la interacción organizada con expertos, redes y comunidades.

En su opinión, la planificación estratégica es una «herramienta sistemática de la gestión pública que promueve el diseño, la implementación y la evaluación de políticas públicas, brindando insumos para gobernar y para actuar». «No queremos estar en un escritorio en la Torre Ejecutiva pensando qué futuros posibles se abren, sino construir esos futuros con los actores relevantes. No basta solamente con la reflexión, se necesita que sea un instrumento para la acción, y en el caso del Estado, un instrumento para la gestión pública», graficó. Según la especialista, la prospectiva «no es sentarse a charlar», sino aplicar y explorar metodologías. «En América Latina hay una escuela muy fuerte de la prospectiva. Colombia es un ejemplo muy interesante», continuó.

Pittaluga habló además de la planificación prospectiva como una herramienta para «construir futuros deseables y probables». «Pero una cosa es lo deseable y otra lo probable. Uno puede querer otro país y otro futuro, pero quizá haya poca probabilidad de que se cumplan sus expectativas», agregó. Además, señaló tres desafíos productivos concretos que enfrenta el país: generar derrames en el territorio, apoderarse de la renta y distribuirla, y controlar la presión ambiental sobre los recursos naturales.

Más adelante, Pittaluga enumeró diez complejos productivos estratégicos para el país: las tecnologías de la información y la comunicación, la bioeconomía, los alimentos, el complejo forestal-celulósico, la minería (y la metalúrgica), la producción energética renovable, la producción energética no renovable, las industrias creativas, los servicios y el turismo. Además de profundizar en algunos ejemplos concretos, se refirió a tres desafíos productivos: generar derrames en el territorio, apoderarse de la renta y distribuirla, y controlar la presión sobre los recursos naturales.

Alonso, por su parte, focalizó su intervención en los aportes de la Facultad de Ciencias a la diversificación de la oferta académica de la Universidad y a su proceso de descentralización, mediante centros universitarios regionales. Además de los aspectos



cuantitativos, que reflejan una fuerte presencia de docentes egresados de Ciencias en el interior del país, la profesora enumeró aspectos cualitativos: se trata en su mayoría de docentes jóvenes; representan la diversidad de carreras de la Facultad de Ciencias; integran los diversos órganos de cogobierno, cargos directivos y de coordinación de carrera; y muchos de ellos cuentan con formación de posgrado. Alonso terminó su presentación con una reflexión de Juan Carlos Valle-Lisboa y Leonel Gómez: «La Facultad de Ciencias nunca fue concebida como una institución profesional más, sino como un núcleo articulador de la producción de conocimiento al más alto nivel posible, única forma de contribuir al verdadero desarrollo del país». ▣





# Carta abierta a científicos uruguayos en el exterior (enero de 1984)

Estimado amigo:

Frente a los hechos que se procesan en estos momentos en Uruguay, que abren las perspectivas de un proceso de reconstrucción, hemos pensado que los científicos uruguayos en el exterior podríamos hacer llegar nuestras ideas sobre el papel que podría jugar en nuestro país el desarrollo científico y tecnológico que presenciamos actualmente.

A pesar de que no es uno de los problemas más urgentes de la hora, creemos que es un aspecto importante a considerar para el futuro del país.

En este sentido, pensamos hacer llegar la declaración que adjuntamos a todos los sectores que jugarán un rol en el país de mañana: partidos políticos, asociaciones gremiales y estudiantiles, personalidades científicas y de la enseñanza, etcétera.

No se trataría de una declaración destinada a los medios de prensa, aunque los destinatarios serán libres de darle la autorización que consideren necesaria.

Intentamos solicitar la firma de todos los científicos uruguayos en actividad en el exterior, teniendo en cuenta que la dispersión puede ser responsable de serias omisiones.

Los abajo firmantes, científicos uruguayos que trabajan en el exterior del país, en el campo de las ciencias exactas y naturales, ante la importancia creciente que el desarrollo científico-tecnológico ha asumido como motor de desarrollo en los países industrializados y la marginación sistemática a la que se ha visto sometido nuestro país, nos sentimos en la obligación de llamar la atención a la opinión pública y de las fuerzas políticas y gremiales democráticas sobre los puntos siguientes:

1) La revolución científico-tecnológica está produciendo ya profundas mutaciones en los países industrializados. El desarrollo de estos países, centrado hasta la actualidad en las industrias pesadas, conoce una transformación profunda con la irrupción de la informática, la robótica y las biotecnologías. Este proceso está caracterizado por la importancia de las inversiones realizadas en el campo de la investigación científica básica y en la tecnología. A la defensa de un espacio físico (propiedad de la tierra), de un espacio económico (propiedad de los medios de producción), siguió en este último período la defensa de un espacio cognitivo (propiedad de la tecnología). Así, el control de la tecnología y la capacidad de creación constante es hoy en día la piedra angular de la estructura del poder internacional. De esto se desprende que en la lucha contra la dependencia, la capacidad que un país tenga de participar en este proceso constituirá uno de los puntos claves.

2) Un análisis retrospectivo de los últimos diez años en nuestro país lleva a la constatación inexorable del aumento de las distancias en este campo con respecto a los países desarrollados, a pesar del esfuerzo denodado de algunos científicos que dentro del país han continuado trabajando bajo condiciones penosas. Esta distancia en algunos sectores claves como las matemáticas, la física, la química, la informática y la biología, por no mencionar más que los sectores de punta en la revolución científico-tecnológica, adquiere proporciones dramáticas.

3) Este atraso es en parte la consecuencia de una política sistemática de subestimación de la importancia del desarrollo científico

nacional, basada en la premisa de que para un país de reducidas dimensiones y de escasa población, es más barato adquirir la tecnología acabada que participar en su elaboración.

4) No puede haber creación científica si no se arbitran los recursos necesarios para su surgimiento y su desarrollo: laboratorios correctamente equipados, bibliotecas actualizadas, disponibilidad de elementos materiales. Y por encima de todo, capacitación técnica de los hombres. Es necesario comprender que un elemento distintivo del avance tecnológico en esta época es la gran proximidad de la ciencia básica y la actividad productiva, y que cualquier intento de acompasamiento, aun parcial y limitado, de nuestro país a la verdad del desarrollo contemporáneo pasa inevitablemente por la formación de un número importante de científicos. Esta formación sólo será alcanzable si son respetadas las formas propias del trabajo científico, su diversidad, el estilo creativo propio de cada disciplina, la necesidad imperiosa de construir, en los dominios claves, masas críticas de trabajo de primera calidad. Es indudable, por otra parte, que existen otros problemas que ocupan las urgencias de la hora, y no pretendemos afirmar aquí que estos problemas constituyen actualmente la primera prioridad. No obstante, cualquier modelo alternativo actual deberá considerarlos en toda su extensión y arbitrar las soluciones necesarias.

5) La expansión científica es también un aspecto medular del desarrollo armónico de las sociedades contemporáneas. Su ausencia es factor de empobrecimiento de la educación y hoy en día no es concebible una educación superior que no esté sólidamente ligada a la creación científica. Para un país con las dimensiones y la historia de Uruguay, el desarrollo científico constituye una parte imprescindible para el desafío que supone construir sobre las ruinas del legado del régimen actual una sociedad que permita oportunidades a sus hombres y mujeres jóvenes, cuya economía esté en condiciones de encontrar nuevos caminos y nuevos mercados y cuya tecnología sea acorde con los avances de la época en que vivimos.

Somos conscientes de que estos propósitos son vistos como utópicos por una buena parte de nuestros compatriotas. Nuestra

experiencia de trabajo fuera del país nos indica lo contrario, si se procede, por cierto, a realizar una concentración de esfuerzos adecuada y si se tiene la voluntad firme de plasmarlos en la realidad. En sentido contrario, pensamos que una negativa a emprender un camino de avance científico importante, basada en buenas intenciones pero también en una profunda incomprensión en cuanto a sus posibilidades reales y existentes, conducirá a la declinación progresiva de nuestra economía y nuestra sociedad, y, como consecuencia, del bienestar de cada uno de sus individuos. A nuestro juicio, la utopía es la creencia de que actualmente una sociedad puede avanzar sin el concurso de un desarrollo científico considerable.

Esperamos su respuesta antes del 15 de marzo de 1984, de modo de enviarle a vuelta de correo y antes de hacerlo público, el documento con todas las firmas, así como la lista de destinatarios. Toda sugerencia, iniciativa o crítica será bienvenida, sobre todo si nos llegan antes del 15 de marzo.

Los saludan fraternalmente:

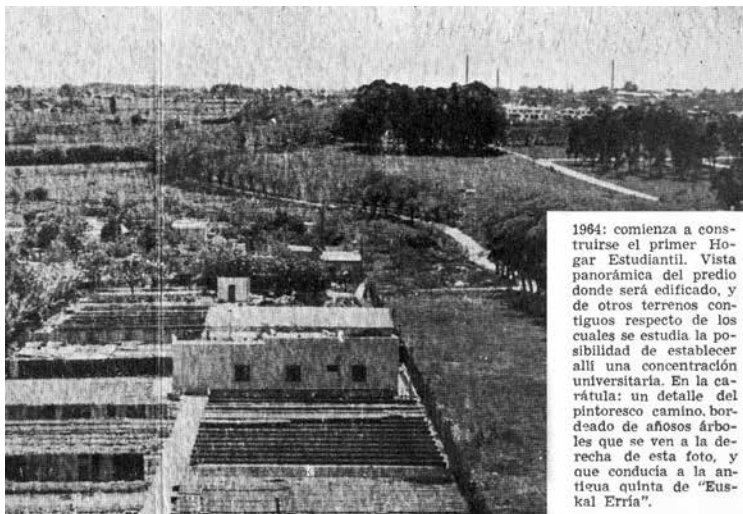
Guillermo Dighiero  
Institut Pasteur  
Dept. D'Immunologie  
25, rue du Dr. Roux  
75724 Paris Cedex 15  
Francia

Ricardo Ehrlich  
Institut Jacques Monod  
2, place Jussieu, Tour 43  
75251 Paris Cedex 5  
Francia

Mario Wschebor  
Universidad Simón Bolívar  
Departamento de Matemáticas y Ciencia de la Computación  
Apartado Postal N° 80.659  
Caracas  
Venezuela

PD: Su respuesta puede ser enviada a cualquiera de estas tres direcciones.





1964: comienza a construirse el primer Hogar Estudiantil. Vista panorámica del predio donde será edificado, y de otros terrenos contiguos respecto de los cuales se estudia la posibilidad de establecer allí una concentración universitaria. En la cartulina: un detalle del pintoresco camino, bordeado de añosos árboles que se ven a la derecha de esta foto, y que conducía a la antigua quinta de "Euskal Erria".

Texto del mensaje de Año Nuevo del rector de la Universidad de la República, Mario Cassinoni, con la foto donde se construiría el hogar estudiantil que luego se transformaría en la Facultad de Ciencias. 1964.



Primera materialización de los sueños: maqueta del proyecto del futuro edificio de la Facultad de Ciencias. Dirección General de Arquitectura, Universidad de la República. 1991.



Colocación de la piedra fundamental del edificio de la Facultad de Ciencias en presencia del presidente Luis Alberto Lacalle y el rector de la Universidad de la República, Jorge Brovetto. 29 de junio de 1992.



Inauguración formal del nuevo edificio de la Facultad. De izquierda a derecha: ex rector Jorge Brovetto, ministro de Educación y Cultura, Yamandú Fau, decano de la Facultad de Ciencias, Ricardo Ehrlich, presidente Julio María Sanguinetti, presidente del BID, Enrique Iglesias, rector Rafael Guarga, ex decano de la Facultad de Ciencias Mario Wschebor. Julio de 1999.







La Facultad de Ciencias de la Universidad de la República cumple 25 años; hace un cuarto de siglo, la expresión «hacer ciencia en Uruguay» obtuvo un nuevo significado. Este aniversario constituye una oportunidad para conmemorar y reafirmar nuestros compromisos con el Uruguay del siglo XXI, el Uruguay en la sociedad del conocimiento. Así lo demuestran las 25 columnas de opinión de nuestros docentes, publicadas semanalmente en *la diaria* durante 2015 e incluidas en este libro. El lector verá representada en ellas la variedad de áreas del conocimiento, relevantes para el bienestar de las personas y el desarrollo del país, en las que los científicos de nuestra facultad trabajan día a día. Los primeros 25 años de la facultad de Ciencias son un logro singular y sustantivo para la Universidad de la República y para nuestro país. Invitamos a recorrer en este libro la historia de nuestra institución y su propuesta de mirar hacia el futuro, a los próximos 25 años de desarrollo de la ciencia en Uruguay y sus desafíos.

JUAN CRISTINA  
Decano

