

# EXACTA

# mente

La revista de divulgación científica

### Geología

Un barco enterrado en Puerto Madero



### Enseñanza

La meteorología en la escuela media



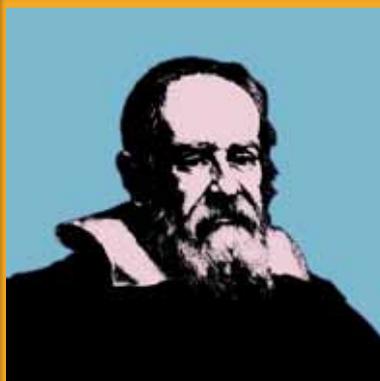
### Actualidad

Alteraciones en la costa oceánica



### Homenaje

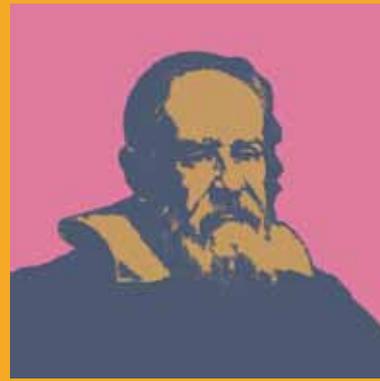
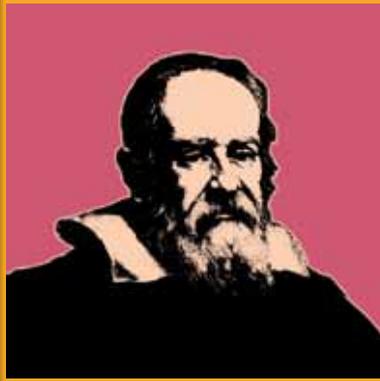
Adiós a Gregorio Klimovsky



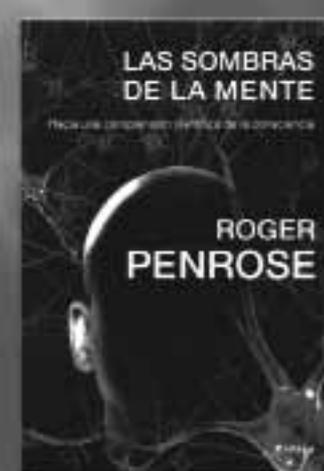
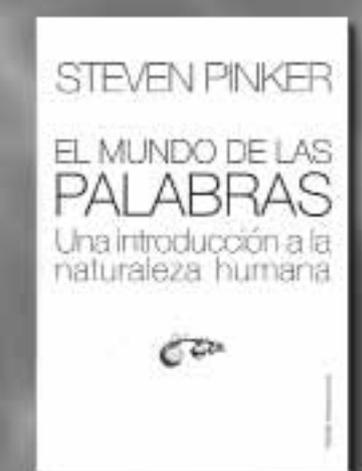
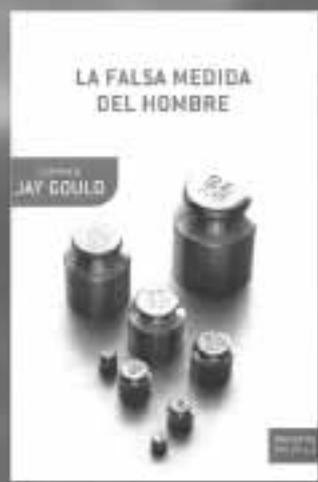
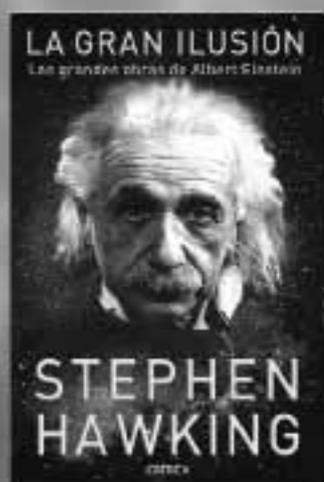
### Dossier

Galileo y el Año Internacional de la Astronomía

## El hombre que tocó el cielo



# ciencia y cultura



Encuentre los libros de ciencia en todas las librerías del país.



AREA PAIDOS

Editorial

Ariel CRÍTICA PAIDÓS

Grupo Planeta

## Consejo editorial

### Presidente

Jorge Aliaga

### Vocales

Sara Aldabe Bilmes  
Guillermo Boido  
Guillermo Durán  
Pablo Jacovkis  
Marta Maier  
Silvina Ponce Dawson  
Juan Carlos Rebores  
Celeste Saulo  
José Sellés-Martínez

## Staff

### Director

Ricardo Cabrera

### Editor

Armando Doria

### Jefe de redacción

Susana Gallardo

### Coordinador Editorial

Juan Pablo Vittori

### Redactores

Cecilia Draghi  
Gabriel Stekolschik

### Colaboradores permanentes

Pablo Coll  
Guillermo Mattei  
Daniel Paz  
Gustavo Piñeiro

### Colaboran en este número

Guillermo Boido  
Agustina Falibene  
Carla Nowak  
Leonardo Moledo  
Carlos Borches  
Christian Espíndola

### Diseño gráfico

Pablo Gabriel González  
Federico de Giacomi

### Fotografía

Juan Pablo Vittori  
Paula Bassi  
Diana Martínez Llaser

### Impresión

Centro de Copiado "La Copia" S.R.L.

### EXACTamente

es propiedad de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. ISSN 1514-920X  
Registro de propiedad intelectual: 28199

UBA-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.  
Secretaría de Extensión, Graduados y Bienestar.  
Ciudad Universitaria, Pabellón II, C1428 EHA Capital Federal  
Tel.: 4576-3300 al 09, int. 464, 4576-3337, fax: 4576-3351.  
E-mail: revista@de.fcen.uba.ar  
Página web de la FCEyN:  
<http://exactas.uba.ar>

Los artículos firmados son de exclusiva responsabilidad de sus autores. Se permite su reproducción total o parcial siempre que se cite la fuente.

## EDITORIAL

### La crisis y la ciencia

En épocas de crisis económica, como la que se vive a nivel mundial, suelen aparecer recomendaciones de economistas ortodoxos que invitan a disminuir el gasto público. Algunos limitan sus recomendaciones a recortes en obra pública y los más duros los extienden a todos las áreas, incluyendo salud, educación y ciencia. Es notable que estos académicos autóctonos ignoran qué políticas aplican en estas épocas los países desarrollados: lejos de recortar, aumentan la inversión en estas áreas dado su efecto estratégico y dinamizador de la economía.

En este sentido –y dado que varios de los problemas planteados reiteradamente en esta columna, como la falta de inversión en infraestructura edilicia, siguen sin tener una solución acorde a las necesidades– el momento actual aparece como ideal para realizar inversiones estratégicas con vistas al futuro post-crisis. Los aportes que puede realizar el sistema científico al crecimiento del país y a la mejora en la calidad de vida de sus habitantes son obvios y evidentes.

Como ejemplo de lo anterior, esta Facultad está realizando desde hace más de cinco años el monitoreo de mosquitos y de roedores presentes en la Ciudad de Buenos Aires a través de un convenio con el gobierno local. Recientemente, la población tuvo conocimiento de la existencia del mosquito *Aedes aegypti*, transmisor de la fiebre amarilla y al dengue, mientras que los roedores son potenciales portadores de hantavirus, por lo que es obvio que la determinación de su presencia en la Ciudad tiene relevancia directa en la salud de la población.

Esta necesidad del aporte científico para la solución de problemas cotidianos, obviamente acompañada de la decisión política de prestar atención y ejecutar las recomendaciones técnicas, nos lleva a reflexionar sobre las acciones que todavía no se llevan a cabo. El artículo 58 de la Constitución de la Ciudad de Buenos Aires sostiene que “la Universidad de Buenos Aires y demás Universidades Nacionales son consultoras preferenciales de la Ciudad Autónoma”. Pero esta cláusula suele ser olvidada por las autoridades de la Ciudad. Todas las Universidades Nacionales son centros de referencias para sus provincias y municipios donde tienen sus sedes, salvo la UBA, que parece estar considerada como “de todos” y por lo tanto “de nadie”. Como ejemplo de diversas acciones que se podrían desarrollar a nivel local, vale mencionar la evaluación de la influencia del cambio climático en la CABA, y las medidas que se deberán tomar para mitigarlo, el monitoreo de contaminantes atmosféricos mediante estudios químicos y biológicos, la optimización de variables para mejorar la circulación vehicular o la mejora de la enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales en el nivel inicial y medio.

En definitiva, los planes de desarrollo educativos, científicos y tecnológicos deben ser acordados como políticas de estado, y acompañados por todos. Eso significa definir el país que queremos ser en el mediano y largo plazo. La política económica del Bicentenario debe ser capaz de acodar el modelo productivo mediante el desarrollo de la industria a través del impulso de los procesos de innovación y transferencia de la ciencia y tecnología. De esta forma se generarán empleos de mayor calidad y se avanzará en la distribución de la riqueza. Sería un primer paso para reencontrarnos con los ideales de Mariano Moreno, Manuel Belgrano y Juan José Castelli: justicia, equidad, industria y educación.

**Jorge Aliaga**  
Decano de la Facultad de  
Ciencias Exactas y Naturales



**ACTUALIDAD 6**

- **Varado en Puerto Madero**  
Por Susana Gallardo



**INFORME 10**

- **Riesgo playa**  
Por Cecilia Draghi



**ENTOMOLOGÍA 14**

- **El caso de las abejas que desaparecen**  
Por Agustina Falibene



**OPINIÓN 18**

- **Biofobia**  
Por Ricardo Cabrera

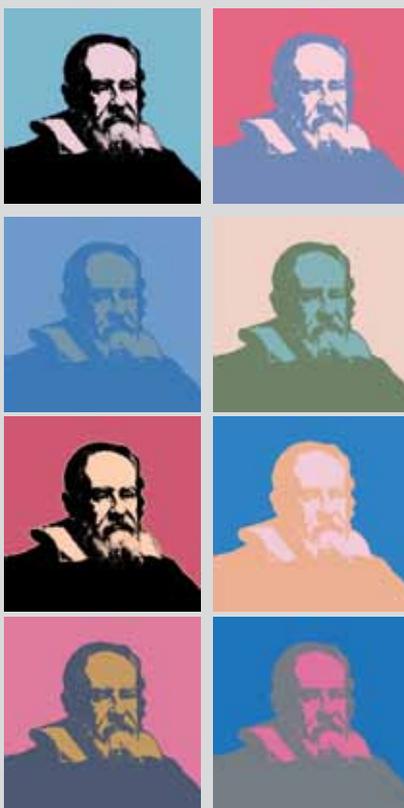


**INSTITUCIONALES 34**

- **Homenaje a Rolando García**

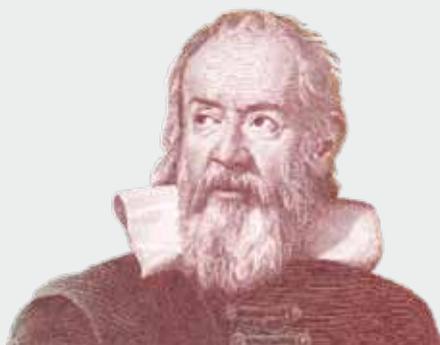
**DOSSIER**

**21**



**GALILEO GALILEI Y EL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA**

- **22. De cómo hace cuatro siglos Galileo acercó el cielo**  
Por Guillermo Mattei
- **26. Galileo y la Iglesia**  
por Guillermo Boido
- **29. Preocupaciones matemáticas de Galileo**  
por Carlos Borches y Christian Espíndola
- **30. En torno a Galileo (y al correr de la pluma)**  
por Leonardo Moledo



**INFORME 36**

- **La reserva vital**  
Por Carla García Nowak



**ENSEÑANZA 40**

- **Mentes nubladas**  
Por Gabriel Stekolschik



**VARIEDADES 45**

- **Las enseñanzas del Maestro Ciruela**  
Mitos, mentiras y fisiología cardiovascular



**INSTITUCIONALES 50**

- **Adiós, Gregorio**  
Por Armando Doria

**ADEMÁS**

- **44. Preguntas**
- **46. Microscopio**
- **48. Biblioteca**
- **49. Juegos**



# Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Nuestro compromiso con la ciencia y la educación, nuestro compromiso con la sociedad



Tecnología de Alimentos



Ciencias Biológicas



Ciencias de la Atmósfera



Ciencias de la Computación



Ciencias Físicas



Ciencias Geológicas



Ciencias Matemáticas



Ciencias Químicas



Oceanografía



Paleontología



**EXACTAS**  
UBA

Ciudad Universitaria  
Pabellón II  
Capital Federal  
[exactas.uba.ar](http://exactas.uba.ar)



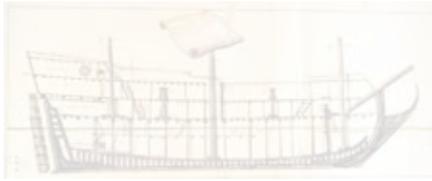
Geología y arqueología

# Varado en Puerto Madero

por Susana Gallardo | [sgallardo@de.fcen.uba.ar](mailto:sgallardo@de.fcen.uba.ar)  
fotos: Diana Martínez Liaser

*En diciembre de 2008, en el predio donde se construye un complejo edilicio, la máquina excavadora dio con los restos de un buque mercante del siglo XVIII. En el marco de un proyecto del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, un equipo de especialistas realiza el rescate de las piezas arqueológicas, que serán analizadas en detalle con el aporte de distintas disciplinas. El estudio de los sedimentos que conforman el suelo que pisamos, por su parte, contribuye a echar luz sobre una etapa de la historia de la ciudad.*





**A** casi diez metros por debajo de la acera, se puede ver el esqueleto negro del barco que quedó varado un día de mil setecientos y tantos. Una rotura en la quilla lo hizo ingobernable. A duras penas se fue acercando al puerto, pero finalmente encailló, a unos 700 metros de la costa. Abandonado por la tripulación, el barco empezó a ser desmantelado. Luego, la arena y el tiempo lo fueron cubriendo. Hasta que un día de fines de 2008 volvió a ver la luz, en el predio donde se construyen lujosas torres, en la avenida Vera Peñaloza al 400, en Puerto Madero, frente al Dique 1.

La embarcación está recostada en forma paralela a la línea de la costa, con la popa –la parte trasera– hacia el norte. Esta es la porción del barco que se distingue con mayor claridad; allí se ven dos piezas metálicas que formaban parte de la pala del timón, que nunca fue encontrada. “La pared ladeada de la izquierda es la banda de babor, que estuvo más castigada por el oleaje. La parte que colapsó, sobre la que está inclinado el barco, es la banda de estribor”, describe el arquitecto Javier García Cano, especialista en arqueología subacuática de la Universidad de Buenos Aires. Mientras que la popa es la parte más conspicua de esta embarcación, la proa, o una porción de ella, se encuentra atrapada bajo los pilotes de hormigón que sostienen la calle Juana Manso.

Si bien todavía falta confirmar algunos detalles, los arqueólogos estiman que no se trata de un buque militar. “Un barco militar sería mucho más refinado en su construcción. Además, estamos encontrando restos de un cargamento que parece importante; un buque militar no tendría semejante carga, y probablemente hubiera tenido muchos más objetos de uso cotidiano, que aquí no hay, porque un buque mercante tiene menos tripulación que uno militar”, explica García Cano. Cabe aclarar que no se trata de un galeón, término que designa a una embarcación militar.

“Casi seguramente –continúa– el velamen no tenía más de uno o dos palos”. Hasta ahora se encontró el lugar donde se apoyaba uno de ellos.

Lo que se sabe con certeza es que el barco no se hundió, sino que quedó varado en la superficie. “Tiene una rotura grande en la quilla, para eso, tiene que haber recibido un golpe mientras navegaba, porque falta un pedazo de madera muy grande. Si se hubiera roto aquí, ese faltante ya lo habríamos encontrado. Tal vez, con su navegabilidad afectada, y en condiciones de tormenta, haya terminado varado aquí”, detalla García Cano. La quilla, columna vertebral de una embarcación, es una pieza longitudinal desde donde nacen las cuadernas, que son como las costillas. La banda de babor es el costado que debió hacer frente a las tormentas del sudeste, y es la que más castigo recibió, lo que refuerza la hipótesis de la varadura.

En aquel momento, varado en la arena, las bajantes grandes hacían que el barco fuera

con una tecnología de construcción española. Luego de que la doctora María Águeda Castro, del laboratorio de Anatomía Vegetal de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, analice las muestras de madera, se podrá saber la especie arbórea, y tal vez el lugar preciso de fabricación.

Para alcanzar fechas precisas se emplearán métodos muy diversos. Por un lado, se hará una datación de carbono 14 de la conchilla depositada sobre la madera. Se enviarán muestras al Laboratorio de Tritio y Radiocarbono, de la Universidad de La Plata, y a un laboratorio de los Estados Unidos. Por otro lado, algunas muestras de partes metálicas, como por ejemplo los clavos, se analizarán en el Laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería de la UBA, con el fin de conocer el tipo de aleación, así como la fecha y lugar de fabricación.



*Se extrajeron más de sesenta vasijas que se supone que traían agua o aceite. Algunas contenían brea, para la reparación del barco.*

accesible a pie, y estuviera expuesto al saqueo. “La cubierta no sobrevivió, probablemente, porque las tablas y las vigas de madera eran muy apetecibles en una aldea como Buenos Aires en esa época, en que casi no había árboles”, dice García Cano, y comenta que las dimensiones del barco, unos 22 metros en el eje de la quilla, “indican que se trata de un buque de porte mediano, que podía llevar cien hombres a bordo, y cruzar el Atlántico”.

En cuanto a la antigüedad, los especialistas lo ubican en la segunda mitad del siglo XVIII,

### **¿Hallazgo casual?**

“Se sospechaba que en la zona portuaria podía haber restos arqueológicos”, señala el doctor Marcelo Weissel, arqueólogo codirector de este proyecto. “Desde hace quince años estamos haciendo un seguimiento de las obras en el Riachuelo y en Puerto Madero, y encontramos muchos objetos del siglo XIX. Y en este caso, yo estaba esperando que se moviera un talud, que corría paralelo a uno de los márgenes laterales de la obra. Vine justo ese día, cuando la excavadora dejó al descubierto



*El equipo de trabajo se compone de unas doce personas, incluyendo alumnos de la carrera de antropología de la Universidad de Rosario y de la UBA, que han recibido apoyo de la empresa constructora.*

las cuerdas del barco”, relata, y agrega: “cuando hicimos un sondeo y encontramos cuatro cañones y cerámica colonial, vimos que se trataba de algo importante”.

Weissel, que dirige el proyecto “Historia bajo las baldosas”, del Gobierno de la Ciudad, admite que si no llegaba a la obra en el momento justo, tal vez los restos del buque mercante no hubieran salido a la luz. “Estar en el momento y lugar indicados es el resultado de años de trabajo mancomunado de investigación en más de 60 sitios de la desembocadura del Riachuelo”, destaca. Cabe señalar que todos los objetos arqueológicos que se encuentren están amparados por la Ley Nacional 25.743 de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico, sancionada en junio de 2003.

Hace unos diez años, durante la construcción de un hotel en Puerto Madero, se hallaron los restos desmembrados de dos barcos, pero, como aún no existía la ley, esos materiales quedaron ocultos. “Por el contrario, en el caso actual, la empresa constructora mostró muy buena disposición para que realicemos las tareas de rescate”, subraya Weissel. De hecho, la empresa proporciona herramientas, logística interna a la obra y tres operarios que colaboran con las tareas de excavación.

El equipo de trabajo, que se compone de unas doce personas, incluyendo alumnos de la carrera de antropología de la Universidad de Rosario, y de la UBA, realiza un relevamiento sistemático del sitio, registrando

y clasificando los materiales encontrados. En lo que pudo haber sido la cubierta, los arqueólogos no paran de desenterrar objetos. Por un lado, rocas que conformaban el lastre del barco, destinado a compensar la acción del viento sobre las velas. Por otro, vasijas de cerámica y numerosas pipas.

Hasta ahora extrajeron más de sesenta vasijas. Se supone que traían agua o aceite. Algunas contenían brea, para la reparación del barco. “Si hubieran contenido granos, habríamos hallado algún resto. En el caso de aceitunas, habríamos encontrado los carozos”, explican los arqueólogos.

“Por ahora tenemos planeado excavar por completo el barco, y comenzar a armar los laboratorios de materiales y el de conservación”, comenta Weissel. Los objetos hallados se están enviando a la Barraca Peña, un galpón del siglo XIX, ubicado en La Boca, frente al Riachuelo. El sitio, proyectado como futuro museo arqueológico, es la barraca lanera más antigua de la ciudad, de alrededor de 1860, con 300 metros de frente, junto a las vías del ferrocarril, según señala el investigador.

Por su parte, la licenciada Mónica Valentini, especialista en arqueología subacuática y profesora en la Universidad de Rosario, desestima la posibilidad de hallar un cofre con monedas de oro: “Los barcos que trasladaban los tesoros americanos a Europa no salían del puerto de Buenos Aires”.

Lo hallado hasta ahora corresponde a la carga que quedó en la bodega, como las

El estudio de un hallazgo arqueológico puede complementarse con la aplicación de conceptos que provienen de las ciencias de la Tierra. Por ejemplo, en el caso del buque de Puerto Madero, la geología puede brindar información acerca de cómo era el antiguo fondeadero del puerto de Buenos Aires. “Suponemos que, cuando el barco encalló, el calado era al menos 4,5 metros más profundo que en la actualidad”, explica Pablo Tchilinguirian, y agrega: “Encima del barco hay un metro y medio de sedimentos arenosos y tres metros de arcillas verdes”. Es decir que el lecho del río creció unos 4,5 metros.

¿Por qué hubo tanta sedimentación en estos 250 años? “Posiblemente se deba al continuo avance del delta del Paraná, que aportó gran cantidad de arena al estuario”, estima el geólogo. Además, a fines del siglo XIX comienza la construcción de los espigones del puerto, para defenderlo del oleaje. Con las aguas más quietas, pudo sedimentar la arcilla. “De este modo, los estudios geológicos permiten observar en directo el impacto que originó el hombre en la dinámica costera de Buenos Aires”, completa.

La ubicación del buque también permite reconstruir cómo era la antigua ciudad de Buenos Aires. El río llegaba a la actual avenida Leandro N. Alem, es decir que la barranca era la antigua costa y, por lo tanto, el barco encalló a 750 metros de ella. Luego, la sedimentación natural y el avance de la ciudad sobre el río hicieron que el barco pudiera aparecer al lado de altas torres de hormigón armado, algo que sus tripulantes jamás hubieran podido imaginar.

vasijas de cerámica. También hay herramientas y elementos que formaban parte del barco, como las roldanas del velamen, que desapareció, señala la arqueóloga. El gran desafío será cómo conservar los materiales hallados, en particular, la madera.

### Conservación de la madera

El casco de un barco puede mantenerse cientos de años mientras esté sumergido o enterrado y saturado de agua. El problema es cuando se expone al aire, pues la madera se seca y comienza a resquebrajarse. Un ejemplo típico de esos procesos es el Vasa, barco sueco hundido en 1628 y rescatado en 1961. Había sido construido por órdenes del rey Gustavo Adolfo II de Suecia, de la casa de Vasa, y naufragó en el puerto de Estocolmo en su viaje inaugural. Actual-

## AL RESCATE DE BARCOS HUNDIDOS

“La arqueología subacuática es una disciplina que nace en los años 50 para el estudio de la arquitectura naval de barcos antiguos. Después se amplió el espectro, y ahora no se trabaja sólo en barcos, sino también en poblados neolíticos, y ciudades hundidas, entre otros”, explica la licenciada Mónica Valentini, investigadora en la Universidad de Rosario. En la Argentina, la disciplina se inicia a mediados de los años 80.

Para estudiar el barco de Puerto Madero, los arqueólogos subacuáticos salen de su rutina habitual, pues no necesitan calzar el equipo de buzo ni las patas de rana. Pero el hecho de que el barco no esté sumergido facilita el estudio, a juicio de los especialistas.

La arqueología subacuática tiene un gran potencial de trabajo en la región. En efecto, en la costa patagónica hay numerosos barcos encallados, y otros, hundidos. Lo mismo ocurre en la costa uruguaya. Sin embargo, según comenta la arqueóloga, “Uruguay no ha podido estudiarlos bajo proyectos arqueológicos, porque una reglamentación de ese país permite que los barcos sean explorados por cazadores de tesoros”. Se trata de empresas que desmantelan los sitios con el fin de hallar tesoros y piezas valiosas para luego rematarlos.

“Existen numerosos sitios arqueológicos subacuáticos en la Argentina —continúa—, algunos son factibles de ser trabajados, otros tal vez no, por las características de las aguas o del lugar donde están hundidos. Pero hoy se dispone de tecnología que permite llegar a los lugares donde los buzos no llegamos, como sonares de barrido lateral, robots, entre otros”.



*Para precisar la antigüedad se emplearán métodos muy diversos: en la Universidad de La Plata, datación de carbono 14 de la conchilla depositada sobre la madera; y por otro lado, en la Facultad de Ingeniería de la UBA, algunas muestras de partes metálicas, como por ejemplo los clavos.*

mente está expuesto en un museo que lleva su nombre. Al respecto, Valentini relata: “Se rocía con un producto químico, polietilenglicol, que ocupa el lugar del agua dentro de la madera. El proceso es largo, pues se sigue aplicando. Pero ahora se vio que no es el método más adecuado”.

En el caso del barco de Puerto Madero, mientras estuvo enterrado, la madera estaba saturada de agua proveniente de las napas freáticas. Ahora, que está al descubierto, el resquebrajamiento de la madera ya comienza a apreciarse, y los listones más pequeños se destruyen con mayor rapidez. Por tal razón, un especialista se ocupará de la conservación.

### Sepultado en la arena

Pasaron apenas 250 años desde aquel día en que quedó varado, sin embargo, el barco fue cubierto por diez metros de material. A partir del estudio de los sedimentos es posible reconstruir ese proceso.

“El buque está apoyado sobre conchilla triturada y mezclada con restos de madera de árboles que crecían en la zona, y también trozos de madera del barco”, explica Pablo Tchilinguirian, docente en el Departamento de Ciencias Geológicas de la FCEyN.

El geólogo explica que posiblemente se produjo una tormenta, durante una bajamar. “Debe haber sido una tormenta muy fuerte, que duró unos dos días, con mucho oleaje, que produjo esa trituración y arrastró los pedazos de árboles y trozos de tosca que venían de la barranca de lo que es hoy la avenida Alem”, precisa. Sobre la pared que bordea la excavación se puede ver una línea blanca, es lo que el geólogo denomina horizonte de tormenta, que indica el momento en que la conchilla se depositó en el lecho de la antigua costa del Río de la Plata.

Por encima de esa marca, aparecen capas de arena, con una estructura laminada, entrecruzada, “que indica que se depositó debajo del agua”, dice Tchilinguirian. Más arriba, se observan unas rayas oscuras, se trata de arena mezclada con restos de vegetales ribereños. “Esto significa que hubo bajantes”, indica el geólogo.

Las bajantes del río quedan en el registro sedimentario como capas de material orgánico formado por tallos de plantas, pajonales y hojas, apelmazados junto con limo y arcilla. “Se contabilizaron alrededor de 24 de estas capas, y son más frecuentes en la parte superior del perfil”, precisa. Estas capas evidencian que hubo momentos en que el buque estuvo al descubierto del agua. “Tal vez, esto permita explicar por qué fue colonizado por plantas, ya que se encontraron raíces”, hipotetiza.

Por encima de la arena aparecen otros sedimentos. Por un lado, arcilla. Más arriba, cascotes, cemento y el hormigón de los pilotes de la calle. La arcilla se deposita cuando no hay olas, e indica el momento en que se empezaron a construir los espigones de Puerto Madero, a fines del siglo XIX y principios del XX. “Al no ingresar las olas, se deposita la arcilla, que se encuentra en suspensión y decanta cuando las aguas están quietas”, detalla Tchilinguirian.

En resumen, a lo largo de las décadas el buque se fue cubriendo por sedimentos naturales del Río de la Plata. La construcción de los espigones y el relleno contribuyeron a que quedara sepultado a tanta profundidad. Pero, al mismo tiempo, ayudaron a que se preservara, ocultándolo de los ojos codiciosos y protegiéndolo del saqueo. □

## Alteraciones en la costa oceánica

# Riesgo playa

Cecilia Draghi | [cdraghi@de.fcen.uba.ar](mailto:cdraghi@de.fcen.uba.ar)

**La Argentina posee unos cinco mil kilómetros de costa atlántica. Se trata de una franja dinámica. El aumento del nivel del mar por el cambio climático y la acción del hombre incrementaron la erosión. Además, el efecto de la contaminación alteró aún más el panorama. En esta nota, el análisis de geólogos y biólogos que siguen de cerca la problemática.**

Marcomini-López



“Todos los años veraneo en la misma playa”, suele decirse y, en verdad, jamás se vuelve al mismo sitio. Lo único permanente es el cambio en esta zona movidiza, de transición entre el continente y el agua, que se extiende a lo largo de 5.000 kilómetros en nuestro país. El panorama no sólo varía de un año a otro, sino en cuestión de horas. “Hoy uno va a la playa, extiende su lonita y toma sol. Al otro día, uno va al mismo lugar y no está la misma arena, se movió”, grafican Rubén López y Silvia Marcomini, del Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Por cierto, la costa nunca se toma vacaciones, porque las olas, de modo incansable, traen sedimentos alojados en el fondo del mar, y también se los llevan de la playa cuando se producen grandes tormentas. Este ir y venir propio de la dinámica costera sufre además modificaciones que son ajenas a su naturaleza. Y en los últimos años se han agudizado ante el aumento del nivel del mar debido al cambio climático (ver “El fenómeno erosivo está en incremento”) y los efectos de la urbanización. En este sentido, los geólogos Marcomini y López coinciden en destacar: “El hombre ha producido cambios importantes en el litoral atlántico de la provincia de Buenos Aires durante los últimos 30 años como consecuencia de un rápido incremento poblacional, acompañado por una deficiente planificación y falta de políticas de manejo adecuadas para las áreas costeras”. Según estos especialistas, las consecuencias por las transformaciones realizadas en ciertos



A las modificaciones propias de la dinámica costera se le suman otras que son ajenas a su naturaleza: el aumento del nivel del mar debido al cambio climático, y los efectos de la urbanización causados por una deficiente planificación y falta de políticas adecuadas.

balnearios han sido de tal dimensión que encubrieron las modificaciones que pudo haber generado el calentamiento del planeta. “La acción del hombre tiene tanta incidencia a través de la forestación excesiva, la construcción de puertos y espigones, entre otros factores, que el cambio climático queda desdibujado. Las áreas más problemáticas –subrayan– son Mar Chiquita, sur de Mar del Plata, Camet y Santa Clara del Mar, en menor medida la zona céntrica de Villa Gesell, Mar del Tuyú, Las Toninas y sur de Mar de Ajó”.

### Lo que la explotación se llevó

Granito a granito, la explotación de arena barrió con parte de las playas. Desde hace más de veinte años, los investigadores Marcomini y López monitorean el estado de la costa bonaerense y prestan especial atención al área comprendida entre Punta Rasa y Necochea que en décadas pasadas supo contar con estaciones de extracción de arena donde la actividad minera sustrajo miles de metros cúbicos para venderlas al mejor postor. Durante esta explotación, el partido de Lobería aumentó la tasa de retroceso de la playa, en tanto en San Jacinto, en el partido de General Pueyrredón, se redujo entre 1985 y 1992, cuando se puso fin a la actividad minera. “La tasa de recuperación fue bastante rápida después que cesó la explotación”, contabilizan.

Hoy, en la provincia de Buenos Aires, este tipo de actividad sólo está autorizada en Punta Médanos. “Hay una cultura de sacar arena de la playa para la construcción, a pesar de que por su tamaño de grano y composición no se ajusta para ser usada en el hormigón armado, según las normas IRAM”, advierte López, en tanto Marcomini añade: “Actualmente no existen las grandes explotaciones de los años 70 u 80, cuando los municipios costeros se edificaron a base de arena de playa, lo cual permite imaginar el volumen usado”. Y destaca: “Es importante advertir que a futuro no deben darse nuevos permisos de extracción”. Si bien ahora las playas se recuperaron en parte debido a varios años

de sequía, cuando regrese el período de tormentas fuertemente erosivo, se volverán a deteriorar. “La actual recuperación es temporal –subraya–. La tendencia indica que, a largo plazo, la playa retrocede más de lo que avanza, según nuestras mediciones entre Samborombón y Pehuencó”.

### Vamos a la playa

Si un hipotético hombre primitivo se hubiera propuesto ir a la playa a la altura de San Bernardo o La Lucila del Mar, se habría llevado una sorpresa. “Hace 8 mil años había agua donde está la costa actual. Recién tres mil años atrás se observa el terreno de Punta Médanos y Villa Gesell. La última localidad en formarse es San Clemente del Tuyú, por eso allí las dunas son las más bajas de todas, porque hace menos tiempo que existen”, indica Marcomini.

Un gran tallador de la playa es el viento, que lleva la arena de aquí para allá. “La forma principal es por saltación, es decir que las partículas de arena son levantadas por el viento y transportadas en el aire dando saltos. Cuando la partícula cae, su impacto sobre la arena levanta otras partículas que son nuevamente movilizadas por el viento. La altura del transporte depende de la velocidad del viento y por lo general es de hasta 1,4 metro. En la playa podemos observar este transporte eólico cuando la arena ‘nos pica las piernas’ en los momentos de mucho viento”, relatan López y Marcomini.

Principalmente, roca molida y restos de conchilla conforman la arena, que en la provincia de Buenos Aires presenta un tamaño

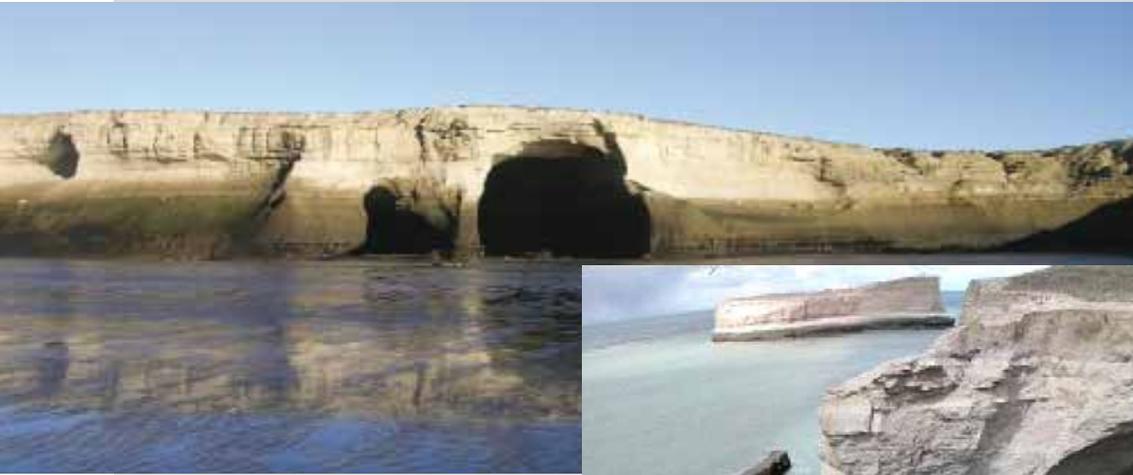
medio de 0,35 mm y color marrón, dado que el mayor aporte proviene de la roca de los acantilados. Las olas generadas en gran parte por el viento también hacen lo suyo. De uno a 30 segundos es el tiempo que suele transcurrir entre una cresta y otra. Cada una de ellas puede llevar o retirar sedimentos de la playa según las condiciones presentes. Por ejemplo, en una tormenta con aumento del nivel del mar, se produce una importante pérdida de arena en la playa, que es trasladada hacia aguas profundas. Cuando el clima mejora, las olas vuelven a traer los sedimentos y se compone el paisaje de modo natural. “Las olas cambian estacionalmente y por consiguiente se produce un reajuste de la forma de la playa. En la costa bonaerense la acumulación suele suceder en invierno y la erosión, en verano”, describen.

### ¿Dónde están las caracolas?

En medio de las olas y el viento, ciertos caracoles, científicamente conocidos como *Buccinanops moniliferum*, parecían vivir tranquilamente en Mar del Plata. Un estudio realizado por el equipo que dirige el doctor Pablo Penchaszadeh, profesor de la FCEyN, encontró en el año 2001 que todos los ejemplares hallados eran machos, además de no haber juveniles. Al principio, creyeron que se trataba de un error. “Para esa misma época concurrí a un congreso en Chile donde se señala que, ante ciertos compuestos químicos en el agua, las hembras de algunas especies toman caracteres masculinos. Es decir, desarrollan un pene que le obtura la vagina. No es una reversión sino una impostación sexual, e



**JORGE CODIGNOTTO: "EL FENÓMENO EROSIVO ESTÁ EN INCREMENTO"**



*En enero de 2006 se podía ver la caverna completa en el Parque Nacional de Monte León en Santa Cruz, en octubre del mismo año la erosión ya la había derrumbado. Allí desde 1968 a 1980 se verificó un retroceso de 0,2 a 0,3 metros por año, y desde 1980 al presente se incrementó hasta cerca de un metro por año.*



“La costa sufre procesos de erosión y acumulación naturales, además de los que produce artificialmente el hombre. Con lo cual suponer que se trata de un lugar fijo es falso. El Delta del Paraná avanza 70 metros por año, la isla Martín García duplica su superficie cada 32 años, y la zona bonaerense de Magdalena retrocedió 70 metros en los últimos 70 años”, ejemplifica el profesor Jorge Codignotto, desde el Laboratorio de Geomorfología, Dinámica Costera y Ambiental de la FCEyN.

¿Cuáles son los factores de la erosión? “El calentamiento global aumenta el nivel del mar por derretimiento de los hielos y dilatación del agua. Además, genera un efecto dominó porque los ciclones se desplazan hacia el sur y se incrementa la frecuencia de tormentas intensas en áreas costeras, que agrava la erosión”, precisa Codignotto, quien integró el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) patrocinado por las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial, que mereció el Premio Nobel de la Paz 2007.

En un estudio que comprende desde el Delta del Paraná hasta Tierra del Fuego, el especialista detectó que el 98 por ciento de la franja costera nacional sufre erosión, generalmente de alta densidad. ¿Algunas zonas, al rojo vivo? En Santa Cruz algunos acantilados se hacen añicos a un promedio de 40 centímetros por año, e incluso más. En el sector costero del parque Nacional Monte León, desde 1980 hasta el presente, el retroceso es de un metro por año, mientras que en la década del 70 rondaba los 20 a 30 centímetros. Otro tanto ocurrió al sur de Punta Loyola, en Río

Gallegos, que de perder anualmente 10 centímetros en los 80, pasó a multiplicar por diez el deterioro, en tiempos más recientes.

Por otra parte, Punta Rasa, en la provincia de Buenos Aires, acumulaba unas dos cuerdas y media de terreno anuales hasta 1980, y luego vio desplomarse su suelo a un promedio de 80 centímetros por año. “El fenómeno erosivo está en incremento y se hizo especialmente notable entre las décadas del 80 y 90”, puntualiza Codignotto, que además es investigador principal del Conicet. El futuro no avizora un horizonte alentador. “Para el año 2050, se calcula que el nivel del mar en todo el mundo estaría unos 48 centímetros por encima del actual, y para el 2100, casi a un metro. Estas son probabilidades que pueden darse si continúan las mismas condiciones planetarias, pero si se producen erupciones masivas de cenizas volcánicas –ejemplifica– todo se revierte. La ceniza volcánica que gira alrededor del planeta impide que los rayos del sol atraviesen la atmósfera, y la temperatura baja”.

Contra la tendencia mundial de destrucción de los deltas por ascenso del nivel del mar, el del Paraná actualmente avanza, “pero –acla-

ra– a un ritmo más lento que hace cien años. Se va deteniendo su crecimiento porque el mar sube, entonces hace inestable el sistema de depósitos de sedimentos que forman las islas”, señala Codignotto en relación a un estudio que efectuó con Rubén Medina en base a la recopilación histórica de los cambios registrados en la zona desde 1750 hasta hoy.

A las variaciones que genera el cambio climático, se suman otros factores que profundizan el deterioro. “En el sector de playas bonaerense el mal manejo por urbanización empeora la situación”, resalta Codignotto. ¿Algunos ejemplos? “Ciertos balnearios construyeron las calles en forma perpendicular al mar, y, cuando llueve, el agua va como una tromba hacia la costa y forma un canaletón que lleva de 7 a 9 toneladas de arena al mar, donde la corriente de la deriva la acarrea como una cinta transportadora. Esta situación se debe multiplicar por cada una de las calles”. Sin embargo, no todos fueron malos ejemplos. “En Ostende –plantea– se diseñaron las veredas muy anchas, verdes y cada tanto muestran una depresión para acumular el agua de lluvia, que se infiltra en la tierra y de ese modo vuelve a formar el ciclo”.

Cecilia Draghi

impide la reproducción”, relata Penchaszadeh, y enseguida agrega: “Nos fuimos a Mar del Plata para ver a qué contaminante se debía”.

Los científicos detectaron que la causa se hallaba en compuestos asociados con pinturas que se usan en los barcos para evitar que se incrusten algunos organismos marinos. “La molécula se llama tributil-estaño”, definen en el trabajo publicado en la revista inglesa *Marine Pollution Bulletin*. “Estos compuestos –precisa– tienen una vida media de 9 meses en el agua, pero es de 5 años si quedan atrapados en los sedimentos. Como en Mar del Plata hicieron el refulado de playas, es decir tomaron arena del fondo de la boca del puerto y la arrojaron a la playa, pusieron en resuspensión el tributil-estaño”. En este sentido, subraya: “Hoy la población de este caracol sigue mal, con todos sus integrantes gerontes y sin generaciones de reemplazo. Pero lo interesante es que, si se los coloca en agua sin contaminantes, en quince días se depuran, y la impostación sexual se puede revertir”.

El especialista, que también está a cargo del Laboratorio de Ecosistemas Costeros-Malacología en el Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”, advierte: “El uso de este tipo de pinturas debe ser prohibido completamente en embarcaciones de menos de 20 metros de eslora (los que tienen la mayor relación superficie/volumen), como ocurre en las naciones que las producen para luego exportarlas a países como el nuestro”.

### Duna, ¿estás ahí?

Tener una mejor vista del mar, o evitar trepar a la hora de ir a la playa, son algunas de las razones que llevaron a eliminar médanos. “Actualmente, en muchas localidades, la duna fue destruida y reemplazada por edificios, estacionamientos o avenidas costaneras, y la playa, ocupada por balnearios. Es así que el equilibrio natural entre la duna y la playa ha sido alterado severamente, incrementando la erosión”, enumeran Marcomini y López.

El viento construye las dunas al acarrear sedimentos y apilarlos de modo dispar. Aquí ciertas plantas empiezan a tallar porque fijan



*Los cuatriciclos y camionetas 4x4 que recorren las playas significan un nuevo riesgo para el ambiente. “Al apisonar el terreno por donde pasan, no dejan a los bivalvos volver a la superficie. Por otra parte, ciertas aves, como el ostrero, ponen sus huevos en verano y son aplastados o se ven obligados a anidar tierra más adentro, donde son atacados por depredadores para los cuales no están preparados”, señalan Marcomini y López.*

el terreno. “La vegetación autóctona, que en general es de poca altura, permite que la duna se estabilice y que intercambie arena con la playa, además de seguir creciendo en alto y a lo ancho. En el primer cordón de dunas es muy importante que no se planten árboles porque fijan el médano y no permiten el intercambio de arena con la playa”, advierte Marcomini. “Los campos de dunas es el plazo fijo de la playa, es decir que cuando necesita arena la toma de allí como si fuese su ahorro. De ahí la importancia de contar con reservas naturales como la del Faro Querandí, una de las pocas que quedan en la costa bonaerense”, destaca López.

Por otra parte, el equipo del doctor José Dadon, del Laboratorio de Ecología Marina de la FCEyN, junto con Ana Faggi, del Museo Argentino de Ciencias Naturales, relevó la vegetación de dunas de 14 localidades bonaerenses a lo largo de 74 censos. “Con el fin de urbanizar, primero se foresta, para fijar el médano. Para esto se traen especies exóticas, dado que las nativas no son arbóreas. En general, se introducen pinos, acacias o eucaliptos. Además, se suman las variedades foráneas que

dan vida a los jardines. Uno esperaría que, luego de esto, queden muy pocas plantas nativas”, sugiere Dadon. Sin embargo, la investigación arrojó que las autóctonas estaban disminuidas, pero no acabadas. “El paisaje se complejizó. Esto nos da una pauta de cómo podríamos aprovechar el diseño para tener un paisaje nativo, otro exótico y poder hacer combinaciones. La idea es planificar de manera tal que ciertas áreas atraigan al turismo, otras sean más agrestes y quede un sector de conservación neta, de modo de tener un mosaico que haga sostenible el ecosistema”, remarca.

La urbanización costera en la provincia de Buenos Aires ya brindó experiencias para saber lo que no se debe hacer. Aprender de los errores y llevar adelante medidas de modo planificado es lo aconsejado por los especialistas. Si bien el territorio costero se divide políticamente entre la nación, la provincia y los municipios, la naturaleza no sabe de estas fronteras y requiere un tratamiento integral. “La pregunta clave es quién hace la planificación. Pero lo importante es que estamos a tiempo para hacerla”, concluye. |



Abandono de colonias en los EEUU y Europa

# El misterioso caso de las abejas que desaparecen

por Agustina Falibene | [afalibene@bg.fcen.uba.ar](mailto:afalibene@bg.fcen.uba.ar)

*De un día para otro abandonan las colonias de producción melífera en forma masiva dejando, además de dudas hasta ahora sin respuesta, grandes pérdidas económicas. La desaparición de abejas se da desde 2006 en el hemisferio norte y abrió todo un debate para los especialistas. Entre los posibles culpables, estrés, agroquímicos y virus.*

Archivo CePro





Salió de su casa temprano, antes de la salida del sol, como cada mañana. Manejó su camioneta, campo traviesa, durante más de una hora, sabiendo que le esperaba un día de trabajo intenso. Al llegar al apiario, se puso el traje, ajustó su máscara y se acercó a la primera colmena de una larga fila. Al levantar la tapa se sorprendió de no encontrar miles de abejas atareadas. Pensó: “Es normal que, entre cientos de colonias, una abandone la colmena... es común en primavera”. Lo terrible fue cuando comprobó que no sólo una, sino dos, tres, cientos, casi todas sus colmenas estaban vacías. Sólo quedaba la reina, moribunda, y muchas crías muertas.

David Hackenberg fue el primero, pero no el único, en sufrir esta devastadora experiencia. En los meses sucesivos, miles de apicultores reportaron pérdidas como ésta. El pánico se apoderó de agricultores, ecologistas y ambientalistas de todo el mundo. La pesadilla agrícola comenzó en 2006 para los Estados Unidos y gran parte de Europa, y fue bautizada con el nombre de Desorden del Colapso de Colonias (traducción del inglés Colony Collapse Disorder, CCD) y es un mal sueño que hasta ahora no ha tenido explicación.

Es inevitable pensar en las causas, pero también en las consecuencias, de la desaparición repentina de abejas a lo largo de todo el hemisferio norte. La abeja melífera no sólo es productora de miel, sino que también es el agente polinizador más abundante, y a veces exclusivo, de cultivos en todo el mundo. Es de altísima importancia para mejorar los rendimientos de algunas frutas y semillas, las que pueden disminuir en un 90 por ciento su productividad si no son visitadas por polinizadores. Un estudio realizado por la Universidad de Cornell estimó que las abejas polinizan cultivos destinados a semillas y cosecha (mayoritariamente frutas, vegetales y frutos secos) por un valor mayor a 14 mil millones de dólares anuales en los Estados Unidos, según publicó el *New York Times* en febrero del 2007.

### Una causa perdida

Desde que se dieron a conocer los primeros casos de CCD en 2006, el Comité de Agricultura de los Estados Unidos y científicos de ese país crearon una red de trabajo para develar qué produce este fenómeno. La doctora Diana Cox-Foster, entomóloga de la Universidad de Pensilvania, es la representante de los científicos en las reuniones del CCD. En una carta escrita y publicada luego del primer encuentro, la doctora explicó los síntomas que caracterizan a este fenómeno, así como también cuáles serían los pasos básicos a seguir en las futuras investigaciones.

El CCD causa que una colonia fuerte, con gran cantidad de individuos, se transforme en una colonia con pocas o ninguna obrera adulta, sin hallarse rastros de abejas obreras muertas dentro o en las inmediaciones de la colmena. La reina puede encontrarse aún presente, con sólo algunas obreras jóvenes y mucha cría, tal como dio a conocer Cox-Foster. El abandono natural de una colmena (enjambrazón) no es algo atípico: alrededor del 17 por ciento de las colmenas de un apiario puede enjambrar en primavera. Sin embargo, “el CCD ha causado pérdidas con un promedio del 73 por ciento”, explicó Cox-Foster, y agregó: “Este desorden tiene una característica sobresaliente: las reservas de miel y polen permanecen intactas por mucho tiempo”.

Se han propuesto muchas causas que podrían explicar el CCD, pero hasta ahora, son sólo especulaciones. Los nuevos pesticidas, los cultivos genéticamente modificados, los productos agrícolas, el cambio climático, los virus, las bacterias, algún patógeno desconocido y hasta los teléfonos celulares están en la mira.

### Los acusados

En un principio se intentó culpar de estas desapariciones en masa a una epidemia de *Varroa*, un ácaro parásito de abejas. La *Varroa* ha causado grandes pérdidas desde los años 80, siendo uno de los mayores problemas para el apicultor. Puede aniquilar una colmena sana en unos pocos meses si ésta no es tratada a tiempo. Este parásito se alimenta de la hemolinfa (la “sangre”) de las abejas. Hoy en día se sabe que la saliva de la *Varroa* deprime el sistema inmune del insecto, debilitándolo. Sin embargo, las colonias que han presentado CCD se “esfuman” en pocas semanas, un tiempo considerablemente más corto que el que necesita este ácaro.

Por otro lado, siempre que una colmena queda vacía (por enjambrazón natural), sin obreras que defiendan su entrada, es atacada por otras abejas, polillas o pequeños escarabajos, que entran en busca de las reservas de polen y miel. Pero las colmenas vacías que han sufrido CCD mantienen sus reservas intactas. Esto último podría estar indicando algún tipo de contaminación.

En el año 1992, un nuevo compuesto se agregó a los pesticidas de uso agropecuario: la imidacloprida. Los apicultores de todo el mundo comenzaron a denunciar que las abejas sufrían desorientación y muerte luego de la aplicación de este tóxico vendido bajo el nombre de Gaucho. Se realizaron muchas pruebas a nivel mundial. En Argentina, a fines de los años 90 se organizó una comisión evaluativa del pesticida. El doctor Walter Farina, profesor de la materia Fisiología de Insectos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, formó parte del plan-

tel. “Se trataba de un insecticida sistémico, que se coloca sobre la semilla pero después se distribuye a toda la planta. Nunca quedó muy claro cuánto llegaba a la flor, al néctar, etc.”, explica Farina. Sin embargo, en varios países, como Francia, se prohibió el uso del compuesto hasta que se concluyan las investigaciones, mientras que en otros, como Argentina y Estados Unidos, se decidió continuar con su aplicación hasta no tener la certeza de que era contraproducente (serás inocente hasta que se demuestre lo contrario).

Pero no puede tomarse a los pesticidas como el único factor causante del desorden, ya que también se han reportado pérdidas en apiarios orgánicos, donde estrictas normas impiden la aplicación de cualquier producto de estas características en varios kilómetros a la redonda.

Otros sospechosos: los patógenos. Investigadores del Departamento de Agricultura

**COMO EN LA VIDA MISMA**

En 2007 se estrenó en los Estados Unidos “Bee Movie”, una película de los estudios Dreamworks, guionada y producida por el ya mítico humorista Jerry Seinfeld, que cuenta la historia de Barry B. Benson, una abeja neoyorquina que, al descubrir que el producto del trabajo de su especie es explotado por los humanos, logra rebelar a las colmenas, que paralizan la producción de miel y también la polinización. La vida en el planeta entra en riesgo y, al advertirlo, Benson (con la voz del mismo Seinfeld) decide llevar adelante un plan para que las abejas vuelvan a las flores.

en Beltsville (Maryland, Estados Unidos) y el grupo de Cox-Foster tomaron muestras de más de 100 colmenas con o sin CCD a lo largo de todo Estados Unidos para evaluar la presencia de patógenos. El análisis de las abejas reveló una gran variedad de microorganismos presentes en los individuos de las colmenas con síntomas de CCD: bacterias, hongos, parásitos y cuatro clases distintas de virus. Este tipo de hallazgos sugiere a los investigadores que las abejas podrían sufrir una fuerte inmunodepresión, provocando una baja de defensas del insecto, que se vuelve más vulnerable a otros factores que podrían llevarlo a la muerte. Además, investigadores de la Universidad de Columbia encontraron que las abejas con desórdenes estaban infectadas con Nosema, el mismo hongo hallado en humanos con el sistema inmune deprimido por enfermedades como el sida o el cáncer, según publicó el *New York Times* en abril del 2007. Cox-Foster mencionó que “tales hallazgos son extremadamente inusuales”. Sospechan que la infección puede transmitirse a través de la cera y el equipo usado corrientemente en apicultura. Pero, hasta ahora, ninguno de los patógenos hallados puede ser acusado como el culpable principal del CCD.

**¿Abejas estresadas?**

Los patógenos encontrados en las colmenas con CCD son causantes de enfermedades bien conocidas y, comúnmente, asociadas a colonias estresadas. En especial, las infecciones fúngicas, que aparecieron en todas las colonias con desórdenes. El

estrés en las abejas podría disminuir su inmunidad a determinados patógenos. Pero, ¿por qué se estresan las abejas?

En los últimos años, Argentina y China se han convertido en los principales exportadores de miel a Estados Unidos y Europa. La gran entrada de productos apícolas de bajo costo ha deprimido los precios locales en los países importadores, lo que obligó a los apicultores del hemisferio norte a desviar su producción hacia la polinización. Los productores agrarios pagan al apicultor por cada colmena que coloca en el cultivo en flor. Las abejas, durante la recolección de néctar y polen, van de flor en flor, contribuyendo a la polinización de esos cultivos. Pero cada tipo de cultivo posee una temporada definida de floración que, generalmente, puede durar alrededor de 10 ó 15 días. Una vez finalizada la floración, las colmenas no pueden mantenerse en esos campos. Así es cómo, en busca de los cultivos agroeconómicos en flor, los apicultores deben trasladar sus colmenas cientos de kilómetros varias veces al año, muchas veces entre zonas fitogeográficas muy distintas.

El traslado o trashumancia tiene grandes consecuencias en las abejas. Las colmenas son transportadas de a cientos en camiones, unas apiladas sobre otras. “En el camino, muchas abejas se pierden al salir de la colmena, y otras tantas mueren por golpes o aplastadas entre los cuadros que se desacomodan por el movimiento”, explica Andrés Arenas, licenciado en Ciencias Biológicas y apicultor. Y agrega: “Otra gran causa de muerte durante la trashumancia son las altas temperaturas que se generan por el amontonamiento de las colmenas”. Todo esto genera un gran estrés en las abejas.

**Un poco desorientadas y mal alimentadas**

Cuando una colmena llega a destino después de un traslado, se encuentra con una región que puede ser muy distinta de la que provenía: paisaje nuevo, olores nuevos, colores nuevos, y más. Esto obliga a las abejas que salen de la colmena a aprender las nuevas claves que brinda el ambiente. “Las obreras necesitan algunos días para adaptarse al nuevo contexto. Deben aprender las nuevas marcas del terreno, para orientarse en su entorno, y deben descubrir la



DreamWorks



ubicación de las fuentes de alimento, que pueden ser muy distintas a las que venían explotando”, dice Arenas, quien además realiza su tesis doctoral en aprendizaje y memoria en abejas, en la FCEN.

Farina, también investigador independiente del CONICET y director del Grupo de Estudios de Insectos Sociales de la FCEN, explica que la orientación de las abejas en el nuevo terreno puede afectar sólo a corto plazo. “Estos insectos aprenden muy rápido las marcas de terreno y, utilizando la ubicación del sol y la luz polarizada como claves, pueden guiarse de la colmena a la fuente de alimento y viceversa”, comenta Farina, y agrega: “Una trashumancia muy sostenida, como hacen los norteamericanos, es perjudicial para la abeja, ya que se fuerza a la colonia a alimentarse de una dieta única que, muchas veces, es muy pobre en determinados elementos esenciales”.

Las abejas de colmenas utilizadas para la polinización de cultivos deben recibir alimentación artificial. Los apicultores les ofrecen suplementos proteicos y una mezcla líquida de sacarosa y jarabe de maíz. Muchas veces, estos suplementos no son suficientes, ya que todavía no se ha encontrado la fórmula óptima que reemplace la disponibilidad natural de nutrientes. Además, los jarabes se realizan con maíz modificado genéticamente, el maíz Bt, del que no se sabe aún si puede tener algún efecto negativo en las abejas. Los investigadores enfatizan que los suplementos dietarios de maíz genéticamente modificado necesitan ser estudiados, tal como publicó el *New York Times*.

En Argentina, el problema nutricional viene de la mano de factores similares. Los cultivos a polinizar se presentan en grandes extensiones (miles de hectáreas) y, muchas veces, están compuestos de una única especie (los denominados cultivos monoflorales), por ejemplo, de girasol. “Este cultivo se caracteriza porque la flor aporta nutrientes de baja calidad, y la ausencia de otras alternativas nutricionales puede inducir déficit alimentario en las abejas”, explica Arenas.

“Las abejas necesitan campos con gran variedad floral, estar estables, ir conociendo el terreno en donde la floración va variando gradualmente”, asevera Farina, y continúa: “Aparentemente, la trashumancia es

*Se han propuesto muchas causas que podrían explicar el Desorden del Colapso de Colonias (CCD): los nuevos pesticidas, los cultivos genéticamente modificados, los productos agrícolas, el cambio climático, los virus, las bacterias, algún patógeno desconocido, la trashumancia de las colmenas y hasta los teléfonos celulares están en la mira.*

una de las causas que está afectando la apicultura en los Estados Unidos, lo que no se observa tanto en otros lugares”. La apicultura enfocada únicamente en la polinización podría ser el causante del CCD.

### El camino de regreso

Las abejas están volando en busca de polen y néctar y, simplemente, nunca regresan a sus colonias; nadie sabe realmente por qué. Los investigadores dicen que, presumiblemente, las abejas, quizás exhaustas o simplemente desorientadas, mueren en el campo, víctimas del frío, al no poder encontrar el camino de regreso a la colmena.

Este desorden parecería estar causado por un conjunto de factores: la trashumancia y una dieta pobre generan grandes problemas en las abejas a causa de una disminución en las defensas. Forzando al sistema a que trabaje sin tregua y explotando zonas nutricionalmente limitadas, se genera mayor propensión a los parásitos y otras enfermedades. Farina considera que todo este conjunto de factores puede afectar a nivel del sistema nervioso central del insecto, y explica: “La falta de orientación podría deberse a un déficit a nivel sensorial: la abeja podría estar no diferenciando los aromas de su colmena con respecto a otros”. Se sabe que la cohesión de una colonia como superorganismo está mediada por determinadas sustancias liberadas por la reina: las feromonas. “Una depresión del sistema sensorial causaría que las abejas no registren la presencia de esta feromona real como lo hacen cuando están sanas, rompiéndose la cohesión operativa: cada

individuo actuaría por su cuenta, desapareciendo la propiedad emergente que caracteriza a estos insectos sociales, que trabajan en conjunto, como un superorganismo”, se entusiasma Farina y concluye: “De todas formas, la causa real que provoca el CCD aún continúa en pleno debate dentro de la comunidad científica”.

En nuestro país no se han declarado casos de CCD hasta el momento, tampoco en el resto de Latinoamérica, aunque los apicultores denuncian bajas en la producción con respecto a temporadas anteriores. Arenas confiesa que, cada vez más, los apicultores en Argentina están destinando sus colonias a la polinización; y señala: “Aunque es poco redituable económicamente, muchas veces, es la única alternativa posible ya que los ambientes han sido muy modificados, principalmente por el avance de la ganadería, y quedan pocos espacios naturales adecuados para apiarios”. De hecho, se está reclamando la incorporación de franjas de vegetación nativa entre las grandes extensiones de cultivo para que las abejas y otros insectos tengan disponibilidad de nutrientes variados.

Si seguimos los pasos del hemisferio norte, la enfermedad se expandiría a nivel mundial. “Si la abeja desapareciera de la superficie del planeta, entonces al hombre le restarían apenas cuatro años de vida. Con el fin de las abejas, se termina la polinización, se terminan las plantas, se terminan los animales, y se termina el hombre”. Si bien tanto la autoría de Albert Einstein sobre esta apocalíptica frase como las consecuencias que predice están en discusión, lo que sí es cierto es que la desaparición de las abejas se llevaría consigo mucho más que miel. | ❏

# Biofobia

por Ricardo Cabrera | [ricuti@qi.fcen.uba.ar](mailto:ricuti@qi.fcen.uba.ar)  
Fotos: CePro

No se trata de una fobia a la vida, ni de un asco a las cosas vivientes, se trata de un rechazo a las explicaciones científicas que aporta la biología para un abanico de cuestiones que antes eran asunto exclusivo de las disciplinas sociales y humanas. El término lo acuñaron hace unos 30 años Martin Daly y Margo Wilson, dos psicólogos pioneros de la sociobiología en alusión a la feroz resistencia que recibió la emergencia de esta nueva ciencia. Nazi, fascista, machista, racista, fueron algunos de los amables calificativos que dispensaron a la naciente disciplina. Se impidió la disertación de sus principales mentores en decenas de reuniones científicas y se censuró la divulgación de sus estudios.

La sociobiología se hizo subterránea, pero sin dejar de crecer y fortalecerse. Se nutrió de la ciencia más experimental y objetiva, más desprejuiciada; y al respaldo de logros rotundos desistió de toda confrontación ideológica. Continuó presentándose al ruedo científico a veces con otros nombres: psicología evolutiva, ecología conductual, adaptacionismo y otros, que, sin quitarles identidad propia, se solapaban con la sociobiología en una proporción significativa.

En la actualidad (con más o menos aceptación según el nombre que use) goza de alto prestigio y las aguas están quietas, al menos en el estanque científico. Pero en el mundo académico los científicos no están solos. En la esfera intelectual, la biofobia persiste. Aquellas escuelas de pensamiento dedicadas tradicionalmente a las áreas sociales y humanas, como la filosofía, la sociología, el psicoanálisis y otras, tienen una enorme influencia en la dirección de la búsqueda del conocimiento, la asignación de recursos, la ideología y la escolarización. Y ahí está el problema.

La gran mayoría de estos intelectuales suscriben el "modelo estándar de las ciencias sociales" según el cual la psiquis humana está modelada por la cultura que la rodea. Tal postura surge de un antropocentrismo natural, embelesado con la mente humana. Ésta y sus productos son concebidos con la envergadura, la magia y el misterio insondable de una creación divina. En semejante contexto es poco probable que presten debida atención a los científicos que proponen estudiar la psiquis, el inconsciente, la moral o cualquier otro atributo de la mente con las herramientas simples de la ciencia experimental. Hay quienes se resisten a afrontar la disputa pretendiendo que ambas posturas

son válidas, respectivamente, para dos esferas del conocimiento disyuntas. Sin embargo, tal pretensión es insostenible: el universo es uno solo.

Habitualmente, quienes alimentan la biofobia incurren en una serie de falacias sencillas (pero persistentes) que es interesante destacar. A continuación, algunas de ellas.

## LA FALACIA NATURALISTA

La idea errónea más común sobre la teoría evolutiva, y enormemente destructiva para el conocimiento, es la falacia naturalista: la idea de que lo que se descubre que es natural (un juicio científico) enseña y aliena lo que debe ser (un juicio moral). La falla de esta postura queda al descubierto cuando se consideran fenómenos naturales como epidemias, inundaciones, terremotos. Nadie se animaría a decir que tales calamidades son deseables. Sin embargo, no se acepta la posibilidad de que algunos rasgos negativos del hombre (el egoísmo, la maldad, los celos, la desconfianza, etcétera) puedan ser naturales, porque de ser así tendrían que ser aceptados no por norma, sino como norma.

Aunque la falacia naturalista es advertida como tal en casi todos los trabajos de los científicos evolutivos que se ocupan del comportamiento humano —a veces— hasta el hartazgo, continúa presente una y otra vez cuando los científicos descubren (o plantean) características de la naturaleza humana generadoras de incomodidad. Por ejemplo, el descubrir características sociales inscriptas en nuestro código genético que conlleven diferencias de poder, de prerrogativa o de cualquier otro beneficio del varón en detrimento de la mujer es condición necesaria y suficiente para que el investigador sea tachado de machista. Como si el investigador estuviera diciendo: "¿vieron?, la naturaleza es machista, luego, debemos ser machistas". Incluso, algún pensador influyente ha llegado a plantear que la sociobiología humana sirve sólo para justificar y promover la opresión de las mujeres.

Uno de los motivos por los que la falacia naturalista persiste es que es utilizada (en forma igualmente errónea) cuando lo que se encuentra que es coincide felizmente con lo que se siente que debe ser. En muchos escritos de corte moral se trata de fundamentar la elección de conductas apropiadas a

partir de la naturaleza y el pasado evolutivo. No se advierte que un escrito moral es ideológico y que, en cambio, un escrito científico debe ser carente de ideología.

### **EXCULPACIÓN DE LOS INMORALES**

Uno de los temores mayores de los biofóbicos atrapados en la falacia naturalista es que el anuncio de hallazgos de caracteres inmorales en nuestra naturaleza humana, exculpe a los inmorales. Por ejemplo, si se descubre y se prueba que el cerebro humano tiene una predisposición natural al asesinato en circunstancias muy precisas, entonces, tal conocimiento permitiría exculpar a los asesinos. Lo dicho también vale para los infieles, los violadores, los mentirosos, los ladrones, los egoístas y cientos de etcéteras más.

Quienes profesan ese temor, pierden de vista dos cosas. Primero, que la naturaleza no tiene moral, no es buena ni mala; sólo es como es. Segundo, que para superar un mal, un flagelo, el camino más seguro al fracaso es renunciar a entenderlo, porque su conocimiento sea peligroso a los fines de la moral. Siempre es más fácil de solucionar un problema si previamente se comprende.

### **EL MITO DEL DETERMINISMO GENÉTICO**

Aunque también fue denunciado y desmentido hasta el cansancio, el mito del determinismo genético se esgrime como una atrocidad inaceptable, un atentado contra el libre albedrío, un callejón sin salida,

una condena a la imposibilidad de cambio. Se supone –erróneamente– que la sociobiología afirma que las conductas humanas, y sus productos, están previamente escritas en el código de ADN, programadas. No es así. La biología nos dota a todos los seres vivos de un abanico de estrategias para interactuar con el medio ambiente. Ni la elección de la estrategia, ni el medio ambiente son predecibles, por lo tanto no hay posibilidad de predicción unívoca.

La conducta de todo ser viviente es el producto de la interacción entre lo genético y lo ambiental (y por ambiental hay que entender, también, el componente social). Existen varios casos probados de influencia directa de los genes en la conducta, o en otras propiedades mentales. Pero esa influencia directa que revela inequívocamente su incidencia se determina, como mucho, en una probabilidad distinta de cero. Son pocos los casos en los que el bagaje genético puede predecir en forma absoluta, total, una conducta particular. En la inmensa mayoría, los psicólogos evolucionistas, luego de extensas estadísticas, concluyen que tal o cual variante genética contribuye en tal o cual porcentaje a la predicción de una conducta. Antes se pensaba, por ejemplo, que la inteligencia de una persona





dependía en un ciento por ciento de su educación, de la estimulación precoz, del ambiente, del entrenamiento, etcétera. Los psicólogos evolucionistas han encontrado un componente genético importante en la inteligencia de las personas, tal vez un cincuenta por ciento. El otro cincuenta sigue dependiendo del entorno social; eso siempre se aclara. Sin embargo, aquellos que fueron picados con el bichito de la biofobia siguen reaccionando como si los biólogos hubiesen afirmado que todo se debía a los genes, sin lugar para más.

### LA FALACIA DEL DISCURSO

En los últimos 20 años cobró auge una moda del pensamiento intelectual, llamada posmodernismo, o relativismo cultural, que equiparaba la ciecia (incluida especialmente la biología) con otras formas de conocimiento o pensamiento, como religiones o doctrinas pseudocientíficas o tradicionales. En ese contexto, la desacreditación fácil de los descubrimientos científicos llegó a ser casi un deporte. Es cierto que el discurso científico

es cerrado en cierto sentido: no se lo puede refutar desde fuera de la ciencia. Pero no es justo tomarse de esto para habilitar un discurso alternativo; ya que la ciencia está abierta permanentemente a la refutación bajo el arbitraje de la naturaleza. Y bien que se cuida la ciencia de no formular hipótesis incontrastables. Lo que la ciencia diga siempre debe quedar al alcance de ese árbitro supremo. Si no, no es ciencia.

### EL PECADO DEL REDUCCIONISMO

Uno de los argumentos predilectos de la biofobia es el antirreduccionismo. Han hecho de "reduccionista" una mala palabra, cuando la reducción es una de las acciones más caras al conocimiento. Cualquier explicación de un fenómeno es en cierta medida un reduccionismo. Cuando la explicación funciona, funciona; y si no funciona o predice mal hay que descartarla. Esto es independiente de cuán extenso sea el fenómeno y cuán breve la explicación. El pecado

imperdonable de la biología parece ser que cada vez explica más fenómenos y cada vez más extensos, mientras que cada vez con más claridad se va perfilando el tremendo poder explicativo de la biología a partir de la Teoría de la Evolución de Darwin y las leyes de la genética. Cada vez más explicaciones se reducen a ellas.

### LOS NIVELES DE CAUSALIDAD

Muy emparentada con el antirreduccionismo es la crítica a la biología cuando ésta encuentra explicaciones simples para fenómenos complejos. Pero tal crítica pasa por el desconocimiento de los niveles de causalidad. Todo fenómeno tiene diferentes niveles de explicación. Hay causas próximas, que explican los mecanismos por los que sucede un fenómeno, y causas últimas, que explican por qué las cosas son de una manera y no de otra, independientemente de la forma que la naturaleza haya encontrado para que sucedan. En las cuestiones sociales, por ejemplo, las explicaciones próximas deben vérselas con todos los implicados en el fenómeno, más todas las relaciones entre todos los implicados, más todos los roles de todos, más las situaciones particulares que vive cada implicado, y así... Cualquier explicación próxima ha de ser muy extensa. En cambio, las explicaciones últimas deben operar sólo con los resultados del fenómeno y sus posibles consecuencias.

Si de un fenómeno natural se logran explicar sus causas últimas, el beneficio para el conocimiento es mucho mayor que la explicación próxima, ya que tiene más poder predictivo, mayor potencial generalizador que las explicaciones acerca de los mecanismos, ya que seguramente, se seleccionaron de entre un conjunto variado de posibilidades. Las explicaciones de diferentes niveles no tienen por qué contradecirse. Ni siquiera compiten entre sí. El hecho de que una explicación sea más breve que otra no le quita valor; por el contrario, le suma.

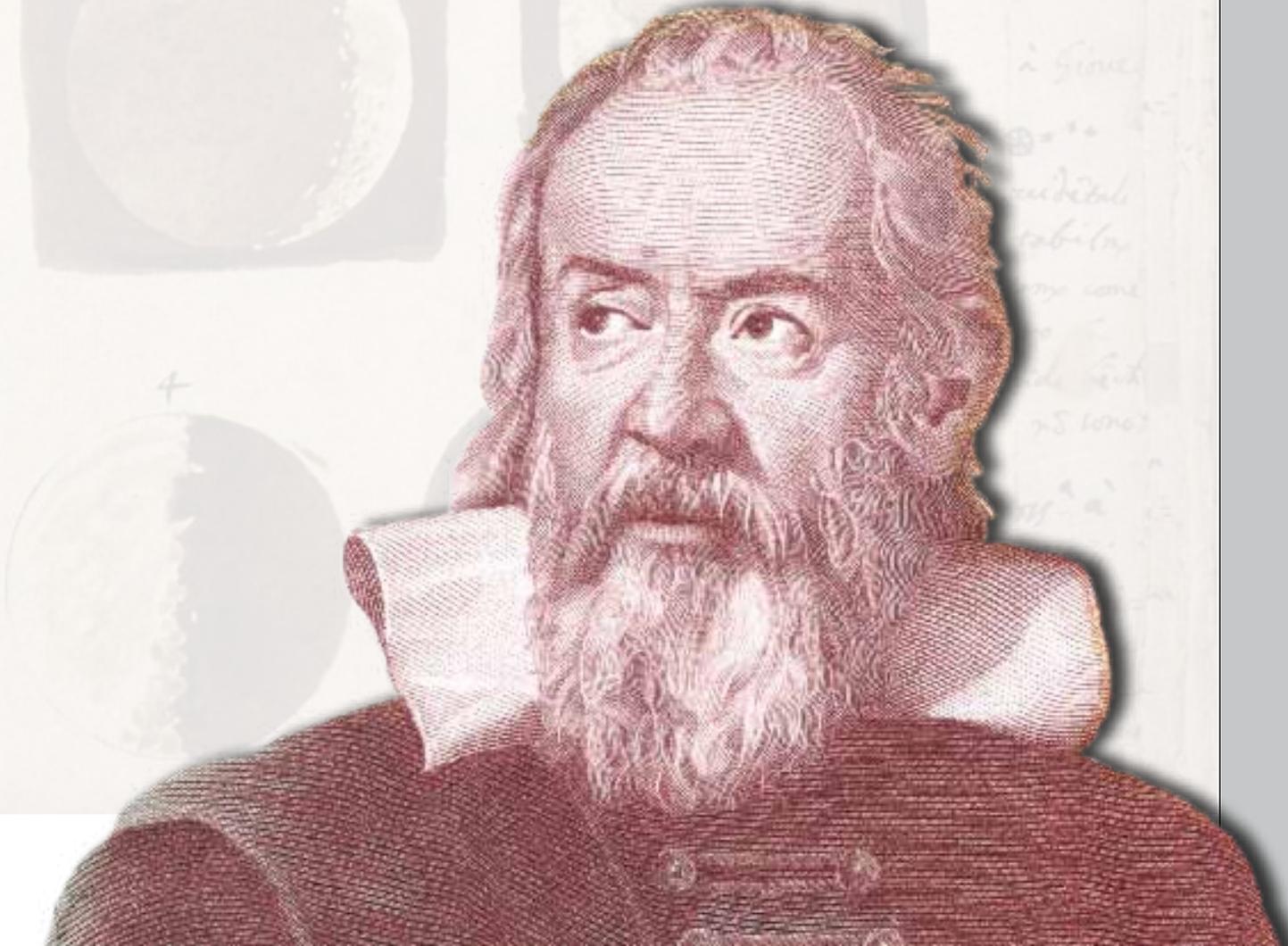
Si se espera que la ciencia descubra una naturaleza políticamente correcta, es porque no se ha entendido nada. Los científicos tendremos que hacer un esfuerzo mayor en hacer entender qué es la ciencia. Por eso es bueno, también, estar prevenidos de la biofobia. Cuando uno se encuentra por primera vez frente a una explicación sociobiológica y en lugar de abrir los ojos ante el descubrimiento —y bancarse el tambaleo de los conocimientos perimidos de la estantería— elige pensar: "demasiado biologicista", eso es biofobia. | 



# Galileo Galilei y el Año Internacional de la Astronomía

*En 2009, los astrónomos del mundo conmemoran el Año Internacional de la Astronomía. ¿Por qué? En 1609, Galileo Galilei apuntó, por primera vez en la historia del hombre, un telescopio al cielo. Así nació la ciencia como doble juego entre la modelización teórica y la indagación de la Naturaleza por medio del experimento. La Humanidad entera también lo celebra (o debiera).*

*En este dossier de EXACTAMENTE, lo celebran Guillermo Boido, Leonardo Moledo, Guillermo Mattei y Carlos Borches.*



La primera observación telescópica del cosmos

# De cómo hace cuatro siglos Galileo acercó el cielo

Por Guillermo Mattei

En el siglo XVII, el uso de lentes, fundamentalmente para anteojos, acumulaba una antigüedad de trescientos años. No es improbable que varias mentes curiosas con espíritu precientífico hayan alineado un par de lentes —con una cierta separación entre sí— e intentaran mirar a través de ellas. Así pudieron haberse dado varias invenciones y reinventaciones del telescopio. Nadie lo sabe.

Varios documentos históricos le adjudicarían la paternidad del telescopio

al holandés Zacharias Janssen, no solo por haber sido un experto fabricante de anteojos de Middleburg, sino por haber inventado el microscopio en 1590.

Sin embargo, la prueba documental de la invención del telescopio data del 2 de octubre de 1608, cuando Hans Lippershey tramitó, ante el estado holandés, la patente de “un sistema para ver de lejos” (teleskopos, en griego). El gobierno holandés, probablemente asesorado por algún militar de inusual perspicacia, en lugar de autorizar la patente, prefirió

comprarle a Lippershey los derechos por la invención y, a la vez, subvencionar sus futuras investigaciones.

Si bien en 1609 Galileo Galilei tenía conocimiento de este estratégico recurso de la armada holandesa, también es verdad que ya disponía de su propio telescopio fabricado con dos lentes y un cañón de órgano como tubo. Sin embargo, Galileo no solo perfeccionó el diseño de estos primeros modelos sino que, sobre todo, tuvo la suficiente audacia intelectual como para usarlos de un modo peculiar y así cambiar nada menos que la Historia de la Humanidad.

National Maritime Museum



## Cuando el Cielo pasó a ser el cielo

Separados por algunos meses del año 1609, dos hombres miraron la Luna con el invento holandés: primero, el matemático, cartógrafo y astrónomo Thomas Harriot, en Londres, y, más tarde, el profesor de matemáticas de la Universidad de Padua Galileo Galilei. Pero ¿qué los hizo trascender de manera diferente en la Historia?

El historiador estadounidense de la ciencia y profesor de Harvard Gerald Holton, en su libro *Einstein, historia y otras pasiones* argumenta: “Se piensa habitualmente que las artes y las ciencias pertenecen a dos mundos diferentes, pero, en algunos aspectos, son primas cercanas”. Ingenio y pasión aparecen en ambas y, desde Pitágoras, también hubo estimulación mutua.

Particularmente, Holton sostiene que la imaginación visual o icónica del artista



Bocetos de las fases de la luna elaborados por Galileo.

desempeña un rol decisivo cuando es empleada en la creación de conocimiento científico. Parece indudable que la capacidad de Galileo para formar imágenes mentales acertadas a partir de imágenes ópticas fugaces, y convertir así vagas percepciones en conocimiento sólido, es lo que coloca al ilustre pisano en la galería de los genios. “Pensar es especular con imágenes”, decía el filósofo y escritor napolitano Giordano Bruno (1548-1600), una figura imprescindible para entender el contexto histórico de Galileo.

Holton explica: “Desde Aristóteles, se pensaba que la Luna era una esfera perfectamente lisa e inmutable”, tal como lo requería la divinidad, más allá de la corrompida Tierra. Sin embargo, la preocupación de la Iglesia —por ejemplo, explicitada por Dante en la Divina Comedia— eran “esas manchas lunares oscuras que hasta los ojos terrenales pueden ver”. Los antecesores inmediatos de Galileo también pensaban que la Luna era una esfera perfectamente

espejada, pero, atrapados por esta idea, tuvieron que producir los más variados argumentos para explicar por qué, entre otras cosas, el Sol no se reflejaba en ella como un simple punto brillante.

Si bien Harriot logra bocetar, en su primera observación de la Luna, la línea divisoria (denominada “terminator”) entre la zona oscura y la brillante, no dice por qué la debe dibujar como una curva irregularmente dentada y no perfectamente continua. Si bien Harriot podía ver, la idea dominante le impedía comprender. Unos meses más tarde, Galileo elabora varios dibujos en sepia de las fases de la Luna, usando técnicas pictóricas del claroscuro. Galileo también dibujó el terminator pero, a la vez, pudo atribuirlo racionalmente a las irregularidades topográficas del terreno lunar. “Seguramente, montañas y cráteres”, pensó el pisano.

Según Holton, la formación cultural de Galileo le había permitido usar sus

ojos como una herramienta de la imaginación, en tanto que la de Harriot le había conferido el poder de la palabra shakesperiana. Mientras que todo intelectual italiano moderno estaba imbuido de la pintura renacentista, las artes visuales británicas atravesaban aún el medioevo. Luego, acerca de sombras, nadie mejor que Galileo.

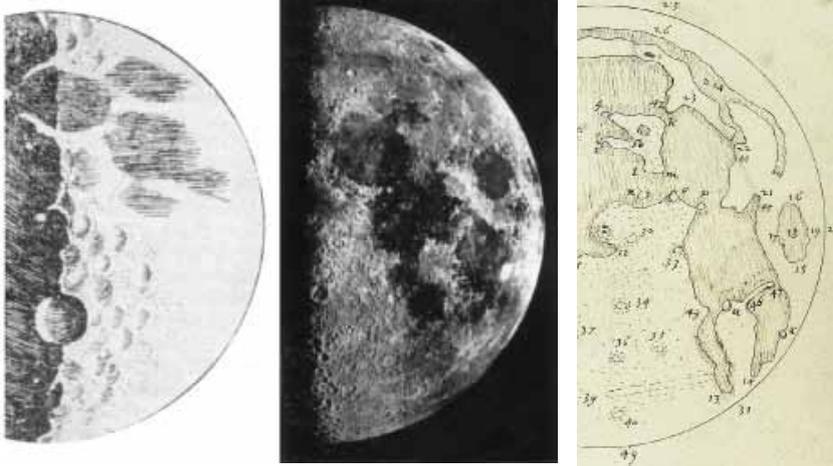
Al igual que algunos otros notables pensadores que dio la Humanidad, como Newton o Einstein, Galileo tuvo la valentía intelectual de ir en contra hasta de su propio bagaje de ideas, reinterpretando de manera novedosa lo que estuvo a la vista de varios otros pensadores sin coraje. Galileo vio, nada menos, que no había diferencias cualitativas entre la Luna y la Tierra. “¡Hay montañas en la Luna más altas que Los Alpes!”, estimó el pisano en su libro *Sidereus Nuncius*. Galileo no solo logró que, curiosamente, en 1610 Harriot reportara explícitamente, a través de sus nuevos dibujos de la Luna, muchas más irregularidades topográficas que él mismo, sino que también alteró la visión del cielo cotidiano de todos los europeos modernos.

En 1609, los pilares de la cosmovisión aristotélica se empezaron a resquebrajar visiblemente, el Cielo pasó a ser el cielo, y Galileo imaginó lo que sus sucesores (de ahí en más, los científicos) verían a través de tubos telescópicos que evolucionarían a partir del suyo propio durante los cuatrocientos años siguientes.

### Teleskopos

A pesar de su parecido con el microscopio, que produce imágenes aumentadas de objetos cercanos, la función del telescopio es ampliar la imagen en la retina del observador de un objeto distante. El microscopio agranda y el telescopio acerca.

El diseño básico de un telescopio involucra a dos lentes alineadas por sus ejes ópticos, o las rectas imaginarias que pasan por los centros de cada una de las dos caras de cada lente. La primera es la lente objetivo, la que está del lado del objeto a observar, y la segunda es la lente ocular, cerca de la cual el observador posiciona su ojo. La primera lente produce una imagen del objeto distante y ésta, a su vez, pasa a ser el objeto de obser-



Izquierda: boceto de Galileo. Derecha: boceto de Harriot. A diferencia del boceto Harriot, Galileo también dibujó el terminator, pero pudo atribuirlo racionalmente a las irregularidades topográficas del terreno lunar atribuyéndolas a montañas y cráteres.

## EL LEONCITO



A 2.552 metros sobre el nivel del mar, en las estribaciones occidentales de la cadena montañosa del Tontal (departamento de Calingasta, San Juan) hay un paraje, denominado El Leoncito, donde el cielo nocturno es notablemente oscuro, diáfano e incontaminado, con unas trescientas noches por año despejadas y donde el viento y la humedad son casi inexistentes. Allí se ubica el CASLeo o Complejo Astronómico de El Leoncito (Conicet, Ministerio de Ciencia y Tecnología y Universidades de la Plata, Córdoba y San Juan); en otras palabras: el primer y único telescopio científico de la Argentina.

En marzo de 1987, los astrónomos profesionales argentinos hicieron la primera observación con el telescopio del CASLeo, bautizado Jorge Sahade en homenaje a su mentor. La inauguración del complejo, con un patrimonio que alcanza los veinte millones de dólares, data del 12 de setiembre

de 1986, con la presencia del entonces presidente Raúl Alfonsín. Mientras que el final de obra se produjo en 1985, su inicio se remontaba a principios de la década del '60. Una típica historia argentina: una dictadura con un plan sistemático de destrucción del avance científico local, material de alta tecnología —adquirido en el exterior por la universidad pública— deteriorándose en depósitos a causa de los irrisorios presupuestos para finalizar el proyecto, y el milagro tardío de la (re)construcción.

El telescopio del CASLeo es de tipo reflector, cuenta con un espejo primario de 215 cm de diámetro, y otro secundario de 65 cm. Pesa cuarenta toneladas y se mueve con la precisión de un reloj a los efectos de compensar el movimiento de rotación terrestre cuando está siguiendo a un objeto astronómico para su observación. Dispone, además, de variado instrumental complementario para la adquisición y procesamiento de los datos observacionales. Las veinte personas que puede albergar el Complejo trabajan en turnos de ocho días corridos, en condiciones de altitud elevada, horarios nocturnos y temperaturas invernales de hasta casi diez grados bajo cero.

El CASLeo no sólo es una reserva astronómica, protegida la calidad de sus cielos contra contaminaciones antrópicas por la ley provincial 5441, sino también ecológica, preservada por la Dirección de Parques Nacionales.

vación de la lente ocular, de modo que la imagen final del sistema se imprime sobre la retina del observador.

Si el objeto es distante, pero está a una distancia relativamente medible, el observador necesita ajustar la posición relativa del ocular para focalizar la imagen nítidamente. Cuando la distancia es tan grande que los haces de luz provenientes del objeto —por ejemplo, de la Luna— llegan al objetivo prácticamente paralelos, la posición del ocular es fija y los haces emergentes hacia el ojo del observador también son paralelos.

Los telescopios permiten ver claramente objetos distantes, la mayoría de las veces muy débiles. Luego, la capacidad de discernir, o técnicamente de resolver, pequeños detalles en fuentes lejanas y débiles es la principal virtud de un telescopio. La resolución es mayor cuanto más luz entra al instrumento, de modo que, a mayor diámetro del telescopio, mayor poder de diferenciar los pequeños detalles de la fuente. Sin embargo, la fabricación de lentes de grandes diámetros, y su operatividad en sistemas telescópicos, es dificultosa y problemática. Para evitar estos inconvenientes, alrededor de 1668, el escocés James Gregory e Issac Newton iniciaron la era de los telescopios reflectores, en los cuales la primera lente objetivo es reemplazada por diversas alineaciones de espejos y diafragmas en el tubo.

Típicamente, los grandes espejos cóncavos de forma paraboidal son los principales protagonistas de cualquier telescopio que se precie. En el histórico telescopio de Hale (en Monte Palomar, California, Estados Unidos), una pequeña cabina de observación se ubica en el punto focal o zona donde la luz converge luego de reflejarse en su espejo de cinco metros de diámetro. Con el agregado de un espejo plano en el camino de la luz, un poco antes del alcanzar el foco, el telescopio se denomina newtoniano. Perforando el espejo principal en su centro, de modo que por el orificio pueda emerger la luz que, luego de reflejarse en él, pasa por otro pequeño espejo elipsoidal cóncavo en el interior del tubo, los astrónomos hablan de un diseño gregoriano. La variante gregoriana que emplea un espejo

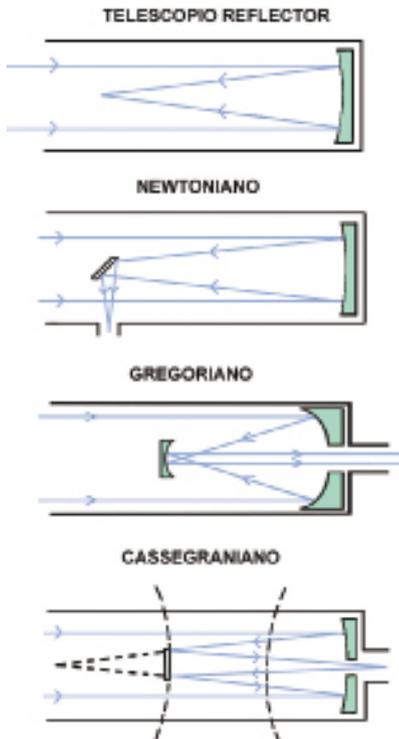
## TELESCOPIOS VOLADORES



El sueño de todo astrónomo es evitar la atmósfera terrestre. En 1923, Herman Oberth, experto en cohetes y mentor del afamado Werner Von Braun, hizo las primeras especulaciones sobre un telescopio que orbitara la Tierra pero, recién en 1969, el astrofísico Lyman Spitzer logró darle forma concreta a semejante proyecto. En 1977, la NASA, embarcada oficialmente en la construcción del primer telescopio orbital, lo bautiza con el nombre de quien, en 1918, pusiera la expansión del Universo en evidencia observacional: Edwin Hubble.

En 1990, la nave Discovery pone en órbita al Hubble –un telescopio cassegraniano con dos espejos hiperbólicos, el principal de los cuales tiene 2,40 metros de diámetro–. Sin embargo, a los pocos días, los técnicos llegan a la conclusión de que un absurdo error de unidades de medida, capaz de hacer reprobar a un estudiante de ciencias en sus primeras materias, había condenado al telescopio a una miopía crónica. Meses más tarde, otra misión espacial se encarga de “ponerle anteojos” al Hubble. Desde entonces, el Hubble tiene los ojos más privilegiados de la humanidad para escudriñar los secretos del cosmos. Pero no serán los únicos.

Casi contemporáneo de Galileo, Giordano Bruno, en una audacia que no reparó en la preservación de su propia vida, razonó: “si nuestro Sol es una estrella, entonces otras estrellas pueden tener planetas como nuestra Tierra y, entonces, ahí habría un problema teológico”. Dicho lo cual, en 1600, el crepitar de los maderos de su hoguera silenciaron tan heréticas y antropodescentristas especulaciones. Sin embargo, el 6 de marzo de 2009, la antorcha de Giordano fue recogida por el telescopio espacial Kepler, cuando la NASA lo mandó a orbitar la Tierra con la misión de curiosear, más nitidamente, los planetas extrasolares que fueron descubiertos en estas últimas décadas. Una vez más, un telescopio estaba cambiando dramáticamente las ideas previas de la Humanidad.



Los distintos telescopios se clasifican según la disposición, el tamaño, la forma y la cantidad y distribución de los distintos espejos, así como por la ubicación del plano en que se forma la imagen (donde se sitúa el observador).

de forma hiperbólica convexa en el interior del tubo, es de tipo cassegraniana.

El Gran Telescopio Canarias (Garafía, La Palma, Islas Canarias, España) tiene un espejo segmentado de 10,40 metros de diámetro. Le siguen el par de telescopios Keck, separados 85 metros el uno del otro sobre el volcán extinguido Mauna Kea (Hawái, Estados Unidos), y el Gran Telescopio Sudafricano (Ciudad del Cabo, Sudáfrica) con 10 metros. En Sudamérica, el complejo astronómico de Cerro Paranal (Desierto de Atacama, La Silla, Chile) ostenta espejos de 8,20 metros. En Argentina, el complejo astronómico El Leoncito (San Juan) cuenta con un espejo de 2,15 metros (ver recuadro “El Leoncito”).

### La pesadilla del astrónomo

“Si la teoría de fabricación de telescopios se pudiera, a la larga, llevar plenamente a la práctica, quedarían sin embargo unos límites que ellos no podrían rebasar, ya que el aire a través del cual miramos las estrellas tiembla perennemente, como puede verse por el movimiento trémulo de las sombras proyectadas por torres elevadas y por el centelleo de las estrellas

“fijas”, observaba genial, pero amargamente, el propio Newton.

La capa de gases que conforma la atmósfera terrestre es un complejo mar estratificado con propiedades físicas y químicas relacionadas, entre muchas otras cosas, con la altitud y diferentes fenómenos que la afectan localmente. Variaciones de temperatura y de densidad, vientos, humedad y contaminación antrópica son algunos de los factores que perturban el camino de la luz proveniente de objetos extraterrestres y que se traducen en una degradación de la calidad de las imágenes que los telescopios pueden proveer a los astrónomos. Nada peor que la atmósfera terrestre para mirar el cielo nocturno (ver recuadro “Telescopios voladores”).

Sin embargo, como dice Holton, el reflejo creativo de los científicos, casi a la manera de artistas convencionales, pudo contrarrestar los efectos de la atmósfera en las observaciones astronómicas mediante la genial idea de la óptica adaptativa. Dado que la turbulencia atmosférica cambia de manera impredecible y en pocas milésimas de segundo, el camino de la luz que la atraviesa se tuerce y se comba en función de esas variaciones. La imagen resultante se asemejaría a la que produciría un espejo de un metro de lado, segmentado en espejitos de diez centímetros de lado, que estuviera apoyado sobre un enjambre de escarabajos que, con movimientos impredecibles, cambiaran rápidamente la posición de los espejitos. Justamente, lo que hacen los ópticos, con técnicas experimentales, teóricas y computacionales, es fragmentar la información luminosa y, leyes de la física mediante, reconstruirla como si se pudieran descontar los efectos de la turbulencia.

Incluso para aquellos que insisten en preguntar para qué sirve dedicar tiempo y recursos a estudiar objetos tan alejados de la vida diaria como los astronómicos, es posible encontrar una respuesta en las aplicaciones de la óptica adaptativa relacionadas con el relevamiento de las retinas humanas, con un poder de discriminación al nivel de los conos celulares. En otras palabras, aún hoy el legado de Galileo continúa cambiando la vida de los seres sublunares. |  $\square$



# Galileo y la Iglesia

por Guillermo Boido\*



Galileo era un hombre áspero y franco, amante de la polémica y la abierta confrontación de las ideas. A diferencia de su contemporáneo Kepler, pensaba que la ciencia no puede ser concebida como una tarea solitaria de espíritus selectos o una mera especulación desvinculada de posibles aplicaciones técnicas; entrevió, con lucidez, la estrecha simbiosis entre ciencia y sociedad que iba a caracterizar a los tiempos modernos. Comprometió, por tanto, todo su genio intelectual, su asombrosa vitalidad y su talento publicitario en la empresa de persuadir al poder político secular y a la Iglesia de que promoviese la libre investigación científica. Destinó el sarcasmo y el ejercicio de la refutación brillante al mundo de las universidades, en las que se invocaba sin mayor crítica a la autoridad de Aristóteles. Ello le acarreó enemigos irreconciliables, que con el tiempo habrían de precipitar su tragedia.

La nueva burguesía en ascenso le brindó su apoyo, y por ello estuvo al servicio de la corte toscana durante largas décadas. Su conflicto con la Iglesia se originó al intentar mostrar al mundo eclesiástico la necesidad de conciliar el dogma con la ciencia, la Escritura con los resultados de la investigación. El científico quiso salvar la autonomía de la actividad científica ante el autoritarismo teológico; el honesto creyente (pues Galileo lo era) quiso impedir que su Iglesia cometiese el error de asimilar los fundamentos del pensamiento cristiano a su expresión temporal e histórica. No lo logró. Por el

\* Profesor Titular de Historia de la ciencia-FCEIN. Autor de Noticias del planeta Tierra. Galileo Galilei y la revolución científica, Buenos Aires, A-Z editora, 1996.



*Los adversarios de Galileo, y en particular algunos influyentes miembros de la Compañía de Jesús, pusieron en evidencia que Galileo sostenía la realidad del movimiento terrestre, violando así la prohibición de 1616. Entonces se decidió procesarlo.*

contrario, tal intento fue castigado finalmente con la prisión y la deshonra.

A principios del siglo XVII, la más importante controversia científica y filosófica estaba referida a la propuesta heliocéntrica de Nicolás Copérnico, formulada por el gran astrónomo polaco en 1543, año de su muerte, en su libro "Sobre la revolución de las esferas celestes". A contramano de la opinión de origen aristotélico prevaleciente en las universidades y adoptada por la Iglesia, Copérnico concebía al Sol situado en el centro del universo, a la vez que otorgaba a la móvil Tierra el papel de "un planeta más". Galileo adhirió a esta postura en privado a fines del siglo XVI y esperó su oportunidad para hacerla pública. En los últimos meses de 1609 comenzó a realizar sus célebres observaciones telescópicas, las cuales, a su entender, refutaban la posición de Aristóteles o bien corroboraban la de Copérnico. Sumado ello a investigaciones mecánicas realizadas por él que quitaban entidad a ciertos argumentos en contra de la movilidad de la Tierra, y convencido ahora de que disponía de evidencias suficientes en favor del copernicanismo, a partir de 1611 logró que la polémica se instalase con vigor en los medios académicos y eclesiásticos. Subsistía, sin embargo un escollo difícil de sortear: la discrepancia entre las afirmaciones copernicanas acerca de una Tierra móvil y las referencias a la quietud de la misma que es posible hallar en algunos pasajes de la Biblia. Galileo, entonces, decidió incursionar en la teología.

En cartas divulgadas entre 1613 y 1615, Galileo sostuvo la tesis de que el científico que renuncia al lenguaje bíblico, destinado al "vulgo iletrado", no renuncia a la Biblia y a su autoridad;

se limita a traducir la verdad revelada al lenguaje matemático en el que Dios escribió el "libro de la naturaleza". La teología es la reina de las ciencias en virtud de la excelcitud de los temas de los que se ocupa, y en modo alguno puede rebajarse a analizar el conocimiento que ofrecen "ciencias menores" como la geometría, la mecánica o la astronomía. Las fuentes de la verdad son los textos sagrados y las conclusiones científicas, pero, dado que ambos se corresponden con una verdad única, la existencia de presuntas contradicciones en la expresión de la misma requiere interpretar juiciosamente el verdadero sentido de la palabra bíblica. Debe por tanto prohibirse la "usurpación" de ésta, porque la metodología científica podría luego probar lo contrario y se habría forzado entonces la verdad a partir de los textos de la Escritura.

Pero la propuesta fue rechazada. El brillante teólogo papal Roberto Bellarmino no objetaba el empleo instrumental del copernicanismo, es decir, entendido como una "ficción útil" para el cálculo astronómico. Tratar así el contenido del libro de Copérnico, escribió a un sacerdote partidario de Galileo, "es hablar con buen sentido y sin correr riesgo alguno". En cambio le resultaba temerario que alguien pudiera afirmar que en realidad la Tierra gira alrededor de un Sol inmóvil, pues, por ejemplo, el Josué bíblico ordena (en el episodio de la batalla de Gabaón) detenerse al Sol y no a la Tierra. Quedaba claro que, para Bellarmino, ningún descubrimiento científico, entendido como afirmación acerca de la realidad física, debía contradecir el contenido literal de la Escritura. En 1616, en sesión secreta, los expertos del Santo Oficio declararon inadmi-

sible la opinión copernicana, pero de hecho, oficialmente, nunca se informó públicamente que ella configurase herejía alguna, lo cual hubiese requerido de un pronunciamiento papal (en rigor, el copernicanismo nunca fue proclamado herético). Se prohibió el libro de Copérnico y se destinó una admonición privada a Galileo, por intermedio del propio Bellarmino, exhortándolo a abandonar la censurada opinión.

No se conoce con exactitud lo ocurrido con Galileo en 1616, y existe sobre el episodio abundante literatura polémica. La mayoría de los historiadores coincide en que Galileo aceptó la intimación de no defender ni sostener el copernicanismo, pero no se comprometió a dejar de enseñarlo y discutirlo al modo instrumentalista, como lo permitía Bellarmino. Sin embargo, se conserva un escrito, semejante al borrador de un acta y no firmada por Galileo ni por Bellarmino, en la que se da cuenta de la imposición formal de un mandato absoluto: la prohibición de "sostener, enseñar o convertir en objeto de demostración, de cualquier modo" el sistema copernicano. Se trata, casi con certeza, de un documento fraguado en 1616 sin el conocimiento de Bellarmino, y destinado a agravar la situación de Galileo en caso de un hipotético proceso futuro. Ello fue lo que, efectivamente, ocurrió.

Luego de algunos años de prudente silencio, Galileo volvió a la carga. En 1623 fue ungido Papa, con el nombre de Urbano VIII, el cardenal Maffeo Barberini, con quien Galileo había mantenido hasta entonces una relación amistosa. Parecía haberse inaugurado una nueva etapa de diálogo entre la ciencia y la fe, pues el nuevo pontífice



decía amar las ciencias y las artes, y se declaraba admirador de Galileo. Pero sólo fue un espejismo. Galileo, con cierta ingenuidad, creyó poder convencer a un público masivo mínimamente ilustrado de sus puntos de vista y escribió una obra maestra de la literatura polémica: los “Diálogos acerca de los máximos sistemas del mundo” (1632). La censura eclesiástica, sin mayor conocimiento de lo que se afirmaba en el texto, no opuso reparos, y el libro fue publicado. Allí se desencadenó la tormenta. Los adversarios de Galileo, y en particular algunos influyentes miembros de la Compañía de Jesús, pusieron en evidencia que Galileo sostenía la realidad del movimiento terrestre, violando así la prohibición de 1616. Entonces se decidió procesarlo.

Los motivos del proceso han sido vinculados con la historia política de la Iglesia: en el marco de la llamada Guerra de los Treinta Años entre católicos y protestantes, el papado afrontaba una dura crisis, originada en el apoyo que Urbano VIII prestaba a la conciliadora Francia, partidaria de acabar con la guerra, en oposición a los países cató-

licos más intransigentes (España y el Imperio Habsburgo). En ese momento los ejércitos protestantes parecían inclinar la guerra en su favor: las tropas del fanático luterano Gustavo Adolfo de Suecia acampaban al pie de los Alpes, dispuestos a invadir Italia y tomar Roma, donde moraba Urbano VIII, el Anticristo. El cardenal español Borgia acusaba al Papa de “transar con herejes” y carecer del “celo apostólico” de sus antecesores. Influyentes antagonistas de Galileo, por su parte, alimentaron en Urbano VIII el rencor por quien fuera alguna vez su amigo señalando que había sido objeto de burla. Por tanto, el Papa habría decidido el proceso y la condena del mayor científico europeo a modo de un golpe de efecto destinado a restablecer su prestigio y autoridad, lo cual ocurrió en 1633.

Los inquisidores exhibieron ante Galileo el documento de 1616 y, al cabo de una serie de maniobras y argucias destinadas a atemorizar a un anciano enfermo, se lo acusó de dos cargos: perjurio (por haber difundido la doctrina copernicana por medio de un libro) y mala fe (por no haber mencionado a los censores la existencia de aquél pretendido mandato absoluto). Puesto que Galileo ignoraba la existencia del documento, negó infructuosamente los cargos. Finalmente, agobiado, aceptó retractarse:

[...] con corazón sincero y no fingida fe abjuro, maldigo y aborrezco los susodichos errores y herejías, y en general cualquier otro error, herejía y secta contraria a la Santa Iglesia; y juro que en el futuro no diré nunca más ni afirmaré, por escrito o de palabra cosas por las cuales se pueda tener de mí semejante sospecha, y que si conozco a algún herejico o a alguno que sea sospechoso de herejía lo denunciaré a este Santo Oficio, o al Inquisidor u Ordinario del lugar donde me halle.

Es difícil no conmoverse ante este texto, en el cual un hombre moralmente aniquilado es obligado a maldecir la causa a la que había ofrecido toda su vida, por obra de lo que el propio Galileo llamaría luego “una conjura de la ignorancia, madre de la malignidad y de la envidia”. Pero no menos conmovedor resulta comprobar que en sus restantes ocho años de vida, en la villa donde permaneció recluido por orden

del Santo Oficio hasta su muerte, pudo recuperar su estatura de gigante intelectual y escribir su obra maestra, las “Consideraciones acerca de dos nuevas ciencias”, piedra basal de la física moderna y de la nueva cosmología que se estaba gestando por entonces.

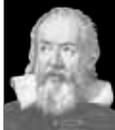
No fue sino hasta 1822 en que el Santo Oficio decretó que, a partir de ese momento, no se debía negar autorización para la publicación de obras que trataran acerca de la movilidad de la Tierra. La encíclica Providentissimus Deus, de fines del siglo XIX, que regula las relaciones de creencia entre el catolicismo y la ciencia, recogió parte de las argumentaciones en favor de la libre investigación que Galileo había presentado, infructuosamente, a principios del siglo XVII. El extinto papa Juan Pablo II le concedió en 1979 el mérito de haber formulado “normas importantes de carácter epistemológico que resultan indispensables para poner de acuerdo la Sagrada Escritura y la ciencia”. Mas esta reivindicación tardía, acompañada de inatingentes consideraciones sobre el proceder científico de Galileo, no puede acallar los ecos de la humillante abjuración que éste debió pronunciar en Roma en 1633, arrodillado, ni el confinamiento domiciliario al que sólo puso término su muerte.

Para muchos creyentes y dignatarios católicos partidarios de Galileo que confiaban en erigir una nueva Iglesia sin antagonismos entre la ciencia y la Escritura, el desenlace del proceso resultó un desatino y a la vez un escollo difícil de superar. En los siglos XVIII y XIX se daba por supuesto que cada logro científico representaba una victoria en la declarada “batalla” entre el conocimiento y el dogma cristiano. Sólo posteriormente se admitió mayoritariamente que la práctica de la investigación científica no significa renunciar a las creencias religiosas y que la religión pertenece al dominio de lo personal y no puede cuestionar la autonomía de la ciencia. (Afirmación esta última que, al parecer, el actual papa Benedicto XVI no comparte...). Pero, acerca del tema, remitimos a un artículo publicado en esta misma revista: “Ciencia y religión: ¿confrontación o armonía?”, Exactamente, a. 6, n. 15, diciembre de 1999. |



# Preocupaciones matemáticas de Galileo

por Carlos Borches\* y Christian Espindola\*\*



En 1581, el joven Galileo Galilei llegó a la Universidad de Pisa para cumplir un mandato familiar. Estaba inscripto en la carrera de medicina, y algunos dicen que esa profesión había sido tan antigua en su familia que su propio nombre arrastraba la marca de ancestrales galenos. Sin embargo, como un personaje borgiano, algunos episodios impensados lo enfrentarían a su destino.

Todo comenzó en los cursos de matemática de Filippo Fantoni y Ostilio Ricci, donde el joven estudiante de medicina tomó contacto con la matemática más avanzada de su época. Ricci había sido discípulo de Tartaglia, quien a su vez había innovado el álgebra y estudiado como nadie la obra de Arquímedes. Galileo eligió pasar cuatro años en la Facultad junto a Ricci, muy lejos de toda posibilidad de alcanzar el título de médico.

Galileo comenzó a dar clases de matemática y a escribir sus primeros trabajos donde la influencia de Arquímedes era notable. Balanzas, aplicaciones hidrostáticas, centros de gravedad y diversos movimientos son las primeras preocupaciones galileanas. Finalmente, casi dos milenios después, la obra de Arquímedes encontraba un digno sucesor.

Y justamente, por la huella de Arquímedes, Galileo avanzará en la geometrización del movimiento cruzándose una y otra vez con el inquietante concepto del infinito.

Desde los tiempos de Euclides se daban por sentadas ciertas nociones geométricas elementales, como la de punto, que sirvió de bloque fundamental para todas las construcciones geométricas.

En términos euclidianos, se trataba de una entidad sin grosor ni extensión alguna que, sin embargo, poseía la capacidad de generar todas las figuras y cuerpos. Esto permitía conectar los mundos microscópicos y macroscópicos, lo infinitamente pequeño con lo cotidiano; pero la naturaleza misma de esa conexión, el proceso que permitía unificar ambas escalas, aún estaba lejos de ser bien conocido.

Buscando combinar ambas concepciones, Galileo interpreta a la circunferencia como un polígono con un número infinito de lados, cada uno de los cuales sería infinitamente pequeño. Incluso conjeturó distintas jerarquías dentro de lo infinitamente pequeño. Del mismo modo en que los números y cantidades usuales pueden compararse y ordenarse entre sí, sostenía que un orden similar puede establecerse entre estas cantidades infinitamente pequeñas, o infinitésimos.

El modo en que se combinaban lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño obsesionaba a Galileo a tal punto que estuvo entre sus planes la confección de un tratado sobre el infinito donde abordaría específicamente estas cuestiones. Tal tratado no llegó a escribirse, sin embargo la intención sirvió de simiente para que el tema fuera analizado posteriormente. De hecho, tan cerca estuvo Galileo de establecer la verdadera naturaleza del infinito matemático que casi precedió a Cantor y Dedekind, matemáticos de fines del siglo XIX, en señalar la propiedad fundamental que caracteriza a este concepto.

Comparando conjuntos infinitos, Galileo advierte que a cada número natural le puede asignar un número cuadrado (1,4,9,16,25,...) y no sobran números

naturales a pesar de que hay muchos naturales que no son cuadrados. Dicho en términos actuales, Galileo estableció una biyección entre un conjunto y una parte propia de ese conjunto.

No convencido del todo por esta correspondencia, Galileo pensó que no podía ser otra cosa que un error, y lo atribuyó al modo de razonar con conjuntos infinitos como si fueran finitos. Donde no había ninguna contradicción, Galileo concluyó que estaba frente a una paradoja, y advirtió sobre los peligros de comparar los conjuntos infinitos y separarlos en jerarquías, tal como lo había hecho antes con infinitésimos. Hoy sabemos que de haber desarrollado un poco más esta idea de correspondencia, habría llegado a la propiedad fundamental que cumple todo conjunto infinito, varios siglos antes del momento en que efectivamente ocurrió.

En su obra, Galileo se encontró una y otra vez con la naturaleza de lo infinitamente pequeño y de lo infinitamente grande. Sus razonamientos lo condujeron a situaciones presuntamente paradójicas y ensayó respuestas que no lo conformaron, pero estas preocupaciones matemáticas abiertas tuvieron el mérito de señalar problemas centrales de los próximos siglos; problemas que serían abordados inicialmente por su discípulo, Buenaventura Cavalieri, y poco tiempo después por Newton y Leibniz, en lo que luego se conoció como cálculo infinitesimal. □

\* Programa de Historia de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.  
\*\* Docente de Matemática del CBC de la UBA.

# En torno a Galileo (y al correr de la pluma)

por Leonardo Moledo\*



Es imposible hablar de Galileo separándolo de la Revolución científica de los siglos XVII y XVIII de la cual es uno de los “cuatro grandes” (cinco si se incluye a Tycho, seis si se incluye a Descartes, siete con Bacon, ocho con Huygens y así...). Tampoco es posible saltar ese halo de tragedia y de teatralización histórica que le da su juicio y condena y su inteligente retractación así como la firmeza de ideas resumida en la leyenda del “y sin embargo se mueve”... Obviamente, Galileo era consciente de que la Tierra no iba a dejar de hacerlo por la imposición de un grupo de terroristas del pensamiento.

Resulta imposible, también, decir algo que no se haya dicho ya sobre Galileo y su importancia para el desarrollo de la ciencia moderna. ¿Y entonces? Y entonces permítanseme algunas reflexiones sueltas y desordenadas (tal vez irresponsables), al correr de la pluma (o del teclado, o de la forma que adopte la vieja metáfora al adecuarse a los tiempos que corren).

¿Cuál es la importancia de Galileo para la ciencia moderna? Bueno, Galileo es ya, y casi de entrada, un moderno, al fin y al cabo, si se siguen los escritos de los cuatro grandes, uno se encuentra con: resabios tolemaicos en el gran Copérnico; Kepler resulta ilegible; y Galileo, como lo será después Newton, es ya un moderno que argumenta, expone, refuta, propone teorías (no todas correctas, como la de las mareas entre otras, o su parcial visión del principio

\* Matemático y periodista. Editor del suplemento “Futuro” del diario Página/12.

de inercia), pero sobre todo establece una metodología y una filosofía de la ciencia que más o menos se conserva hasta hoy.

Copérnico había mantenido las esferas y la física aristotélica, Kepler se debatió entre su visión mística al estilo pitagórico del mundo con resabios del aristotelismo o, mejor dicho, con la visión congelada o dogmática que había montado la Edad Media, como veremos luego, y que paralizaba todo. Y sin formularlo tan claramente como lo hará Newton en su esolío (la ciencia experimenta y luego procede por inducción), establece los pilares del pensamiento científico posterior: inducción, deducción, experimentación.

Es inútil terciar en la discusión sobre si Galileo era un experimentalista (y por lo tanto inductivista) o si, como sostiene Koyré, un puro deductivista que basaba su filosofía natural en experimentos mentales a la manera de Einstein; es lógico pensar que, como suele ocurrir, combinó ambos aspectos.

Por un lado, su postura sobre el libro de la naturaleza escrito en caracteres matemáticos —que escribiría Newton— habla de un platonismo ¿residual?, ¿eterno?, ¿inseparable de la ciencia y en especial de la física? Si la naturaleza se manifiesta a través de las matemáticas, si el lenguaje de las cosas es el de los círculos y las figuras, también será el de los axiomas y los teoremas y es natural que las leyes puedan deducirse a partir de primeros principios establecidos empíricamente... o no tanto.

Aunque Galileo no procede exactamente así, como ocurrirá más tarde con los “Principia” newtonianos; sí se sumerge en el sistema de refutaciones racionales (¡la lógica aristotélica!) en sus diálogos. Esto es ya un esquema geométrico, aunque muchas veces con argumentos que parten de constataciones empíricas: si estamos en un barco que... Este “si...” y un consiguiente “entonces...” marca el tono de los nuevos tiempos. La conclusión de que, puesto que en el barco no percibimos el movimiento, sobre la Tierra en movimiento tampoco, es una generalización inductiva, y las generalizaciones inductivas, al fin

y al cabo —puesto que no existe una lógica que garantice su verdad— son la marca del genio que se atreve a sortear ese gap lógico.

En realidad, se puede intentar una justificación no sé si lógica, pero sí conceptual, de las generalizaciones inductivas basándose en el principio o creencia de uniformidad. El experimento es neutro en relación con el espacio y el tiempo, y esta convicción llegará a su máxima concreción en la idea de laboratorio, un espacio libre del fluir espacio-temporal, un espacio geométrico donde cada punto es todos los puntos y cada evento todos los eventos, suposición bastante razonable, en especial si se tiene en cuenta que en el laboratorio el evento, la ley, el principio, se destilan; esto es, se los geometriza hasta donde es posible. El laboratorio moderno es un recorte del continuum espacio-temporal newtoniano.

Y aquí es donde aparece el costado experimentalista de Galileo: el experimento galileano difiere completamente de la observación aristotélica. El experimento produce hechos, no se limita a registrarlos. El evento producido, cuando Galileo trabaja con sus esferas que ruedan por planos inclinados y mide los tiempos con un reloj de agua, instituye el laboratorio moderno, derivado, el concepto de laboratorio, de los alquimistas, pero laicizado, geometrizado, despojado de connotaciones espirituales.

No fue el primero en hacerlo, desde ya. Lo había hecho el mismo Arquímedes, Filopón de Alejandría, lo había hecho la Escuela de París y sobre todo la de Oxford. Y, sobre todo, lo había hecho su gran predecesor Benedetti, a quien no se recuerda tanto como merecería. Pero además, el experimento galileano es controlable (y aquí tenemos otro elemento moderno) y por lo tanto público. En ese sentido, la historia del telescopio ofrecido a todo el mundo o la anécdota de la Torre de Pisa (seguramente falsa, ya que se apoya en un relato de Viviani escrito décadas más tarde) *si non e vera, e bien trovata*. El experimento —puesto que no es un hecho de la vida corriente que todos son capaces de observar, sino algo producido— y dado que no es tampoco deducido de

Ottavio Leoni (1578-1630)



*El evento producido, cuando Galileo trabaja con sus esferas que ruedan por planos inclinados y mide los tiempos con un reloj de agua, instituye el laboratorio moderno, derivado, el concepto de laboratorio, de los alquimistas, pero laicizado, geometrizado, despojado de connotaciones espirituales.*





Tumba de Galileo, en Santa-Croce, Florencia (Italia).

nada, debe estar sometido a consenso (social en este caso) sobre sus resultados. La ciencia se convierte resuelta y explícitamente en una actividad abierta y Galileo la coloca definitivamente en la esfera pública, de donde no ha salido desde entonces. Y laica. O más bien, no sustancialista. Un residuo que aparece todavía en Benedetti –a quien el sustancialismo residual le cuesta no haber encontrado la ley de caída de los cuerpos... porque no había sonado aún su hora– y en los divagues místico-pitagórico-platónicos de Kepler. La ruptura con la idea de sustancia aristotélica, el dejarla afuera de los intereses científicos y apartar toda intención metafísica de los intereses de la mecánica lo aproxima a la idea de modelo que Newton –sin decirlo, claro está, y sin saberlo, presuntamente– tendrá que aceptar, presionado por las circunstancias en la segunda edición de sus *Principia*, en el “Escolio” y a propósito de la ley de gravitación, acusada, con razón, de introducir conceptos metafísicos.

Naturalmente, Galileo no lo percibía así; como Copérnico, él es un realista directo, que cree en la existencia directa de leyes y relaciones matemáticas en el mundo, aunque se despreocupe de la naturaleza de esas leyes, y ésta será la posición predominante en la física hasta probablemente el siglo XX, y la disputa sobre la mecánica cuántica es ilustrativa al respecto. De todos modos, y como ya se comentó, avanza hacia la idea de la física como modelo, primera línea de defensa de los científicos ante cualquier pregunta o inquietud que huelga de lejos a sustancialismo.

En rigor de verdad, y aunque reconociendo el peligro de la metafísica en

la ciencia, y sin ser un realista directo, no creo que la naturaleza de los términos teóricos realmente no interese a la ciencia y, una vez más, la interminable discusión sobre la naturaleza de los objetos cuánticos es ilustrativa. Una vez abandonado el realismo directo (no me gusta la expresión realismo ingenuo), la distancia entre el término teórico y su realización en el mundo genera una comprensible inquietud científica y la magnitud o el significado de esa distancia no es indiferente en modo alguno. No es lo mismo que los quarks o los fotones existan como entidades reales o que existan como meros términos de una ecuación que da resultados. Puede ser que esta postura escandalice un poco, pero como Galileo da para todo, me sirve una cita de él en que aborda precisamente este problema. Después de desinteresarse por las causas de la ley de caída de los cuerpos, se lamenta: “Nadie ignora que esa causa (de la caída) recibe el nombre de gravedad. Pero excepto el nombre (...) no comprendemos nada de esa cosa...”. Y una portentosa intuición, que debería esperar todavía medio siglo: “...ni de la virtud que hace bajar una piedra, ni de la que empuja una piedra proyectada hacia arriba, ni de la que mueve la Luna en su órbita”.

Y una última observación: a pesar de su base platónica (que será la de toda la ciencia moderna que parte de él), Galileo es un Aristotélico: lo dice en algún momento (cito de memoria) “si Aristóteles hubiera vivido ahora, aceptaría estas novedades en vez de quedarse atado a lo que él mismo dijo”. Cambiando la idea de observación por la de experimento (aunque también Aristóteles experimentaba, en cierto sentido, al dise-

car y diseccionar animales, por ejemplo) y partiendo de un mundo técnico que la antigüedad no había conocido, Galileo se saltea la Edad Media (incluso la próxima a él, como la de Benedetti... Bueno, es injusto colocar a Benedetti en la Edad Media), colocando la ciencia en una nueva edad y camino.

Otra cosa más: al independizar la ciencia de toda metafísica, al desentenderse casi totalmente de las causas, al atarlas a las matemáticas (que son, para su mentalidad, independientes de la voluntad humana), Galileo deja de ser un renacentista, y se aparta de ese mundo complejo y mágico, sobrecausal y entrelazado, que todavía está presente en Copérnico y Kepler, centrado en el hombre del humanismo; en el mundo de Galileo, los fenómenos son independientes de la subjetividad, ahora a merced de un mundo que funciona independientemente de esa subjetividad, y al que hay que descubrir: Galileo no es un renacentista ni un clásico; navega ya las aguas del barroco.

Complejo, por momentos confuso (no tiene la nitidez de Newton), enorme, multifacético, polemizando todo el tiempo con la realidad (y con sus contemporáneos), Galileo se merece, probablemente que se le aplique la hermosa frase de Albert Schweitzer sobre Juan Sebastián Bach (y que yo prefiero aplicar a Copérnico, para mí científico entre los científicos, pero bueno): Galileo, “es pues el fin; nada procede de él, todo conduce a él”. No hay rincón del pensamiento científico donde no lo encontremos. |



El dossier “Galileo Galilei y el Año Internacional de la Astronomía” es parte del número 42 de la revista EXACTAMENTE.

#### EXACTAMENTE

es propiedad de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. ISSN 1514-920X  
Registro de propiedad intelectual: 28199

Los artículos firmados son de exclusiva responsabilidad de sus autores. Se permite su reproducción total o parcial siempre que se cite la fuente.



# Área de Popularización del Conocimiento y Articulación con la Enseñanza Media

La Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires cuenta con un Área de Popularización del Conocimiento y Articulación con la Enseñanza Media dentro de su Secretaría de Extensión, Graduados y Bienestar.

## LAS TAREAS DE ESTE ÁREA SON:

- transmitir a todo tipo de público el conocimiento científico, haciéndolo de manera clara, amena y divertida sin perder rigurosidad
- vincular a los alumnos de la escuela media con estudiantes, docentes y científicos de la Facultad a través de actividades de divulgación científica, orientación vocacional y difusión institucional

## EQUIPO DE POPULARIZACIÓN DE LA CIENCIA (EPC-EXACTAS)

[<http://exactas.uba.ar/popularizacion>]

El EPC-Exactas lleva adelante proyectos de divulgación, alfabetización y enseñanza de las ciencias destinados tanto a la escuela media como al público en general:

- Semanas de las Ciencias
- Exactas va a la Escuela
- La Escuela viene a Exactas
- Ciencia en Marcha
- Olimpiadas de Ciencia

## DIRECCIÓN DE ORIENTACIÓN VOCACIONAL (DOV-EXACTAS)

[<http://exactas.uba.ar/dov>]

La DOV-Exactas brinda información y asesoramiento para la elección de una carrera universitaria. Se organizan programas y actividades para acercar a los alumnos a las carreras científicas:

- Experiencias Didácticas
- Talleres de Ciencia
- Científicos por un Día
- Estudiando a los Científicos



## ■ Más información, consultas e inscripciones

Secretaría de Extensión, Graduados y Bienestar | Pabellón II, Ciudad Universitaria  
Teléfonos: 4576-3399/3337 internos 37 (EPC-Exactas) y 43 (DOV-Exactas)  
[popularizacion@de.fcen.uba.ar](mailto:popularizacion@de.fcen.uba.ar) | [dov@de.fcen.uba.ar](mailto:dov@de.fcen.uba.ar) | [www.exactas.uba.ar/media](http://www.exactas.uba.ar/media)

EXACTAS  
UBA



Nueva denominación para el Pabellón I

# Homenaje a Rolando García

Fotos: Diana Martínez Llaser

**En una emotiva jornada, el 18 de marzo pasado, el Pabellón I de Ciudad Universitaria, que alberga las carreras de Física, Computación y Matemática, pasó a llamarse “Profesor Rolando García”, en homenaje al ex decano de Exactas.**



Las seis justas de la tarde, más de 150 personas estaban reunidas en el frente del Pabellón I de Ciudad Universitaria. Esperaban a alguien. A esa misma hora, Rolando García atravesaba en auto –en el asiento del acompañante– una congestión de tráfico en la avenida Figueroa Alcorta. Por él esperaba la gente y, si bien Rolando no estaba completamente al tanto de la situación, sabía que lo habían convocado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales para un homenaje y lo incomodaba llegar tarde. Cuando el auto estuvo cerca de la entrada del pabellón, a las seis y diez, Rolando preguntó qué hacía toda esa gente ahí, y la respuesta llegó sola, sin palabras, cuando el decano Jorge Aliaga se acercó a abrirle la puerta y él bajó, junto a su esposa, Emilia Ferreiro, a encontrarse con los primeros abrazos de la tarde. Dejándose llevar, fue encaminado frente a un lienzo color hueso que colgaba de una de las paredes

del pabellón y, en el medio de palmadas y felicitaciones anticipadas, el mismo Rolando descubrió una placa que indicaba que el edificio recibía como denominación “Profesor Rolando García”.

Ex decano de Exactas por dos períodos consecutivos, impulsor de la creación de la Ciudad Universitaria, gestor de una época de esplendor científico que terminó con la “Noche de los bastones largos”, investigador en temas atmosféricos, exiliado político, discípulo de Jean Piaget en París y destacado epistemólogo, Rolando García vive y trabaja como académico en la Ciudad de México. Vino de visita a Buenos Aires como cada año, y en esta oportunidad las autoridades de Exactas decidieron aprovechar su breve estadía para homenajearlo por sus 90 años recién cumplidos y los 50 de su primer decanato. Pocos días atrás, el Consejo Directivo

había aprobado por unanimidad la propuesta del decano Jorge Aliaga y la vicedecana Carolina Vera para darle su nombre al Pabellón I, cuestión de la que estaba al tanto la esposa de Rolando y que, de acuerdo a su testimonio, le fue comunicando al homenajeado en los días previos. De todas formas, le emoción que expresó Rolando después de ver la placa y el cartel de la entrada del edificio dejó evidenciar una importante cuota de sorpresa: leyó la placa y se llevó su mano izquierda a la frente; así permaneció unos segundos hasta que estalló el aplauso.

Caminando entre los demandantes asistentes, y siempre flanqueado por su esposa, Rolando se dirigió al Aula Magna, donde continuaría el homenaje. Allí lo esperaban más de trescientas cincuenta personas, entre las que se destacaba una gran cantidad de hombres y mujeres, activos participantes de la actividad política universitaria que desembocó en los años dorados.

En una atmósfera distendida y poco solemne, con un Rolando sonriente sentado en la primera fila de butacas, Jorge Aliaga y Carolina Vera dieron inicio a la actividad leyendo las adhesiones. A continuación, Aliaga presentó un libro editado por la Facultad a partir de una charla que dictara Rolando en 2006 y que lleva por título: ¿Hacia dónde van las universidades? A continuación, tomaron la palabra Jorge Albertoni, Fortunato Danón y Pedro Saludjian, tres personas muy allegadas a Rolando durante sus gestiones y todos militantes de la instalación del modelo reformista a mediados de los 50.

“Antes de las historias, quiero agradecer la alegría y el privilegio que nos da la Facultad de poder ver la cantidad de gente que sigue lúcida y alegre como Rolando”, co-



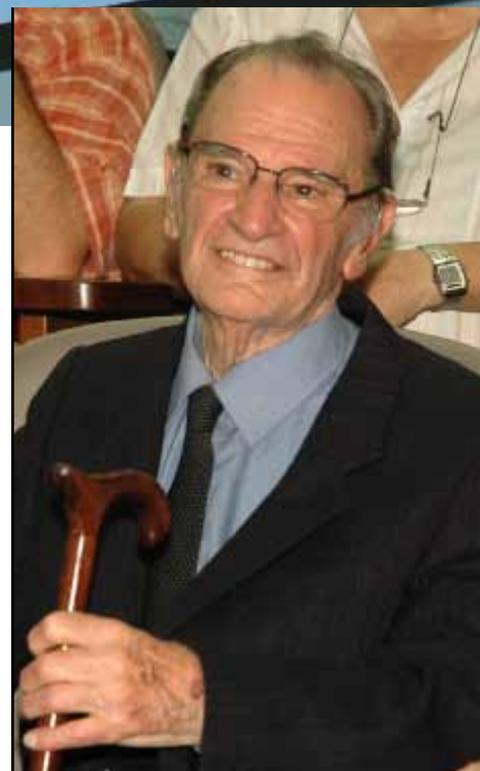
menzó diciendo Albertoni—. Parafraseando el dicho “siembra vientos y cosecha tempestades”, indicó más tarde que “acá fue al revés: recogimos una tempestad que generó una cantidad de vientos que arrastraron las ideas y nos fueron metiendo en formas de pensamiento que ninguno de nosotros teníamos habitualmente”. El ingeniero destacó en dos oportunidades la influencia de Rolando en la formación y la idiosincrasia de varios de su generación.

Siguió en la lista Pedro Saludjian, secretario durante la gestión de Rolando y al que se lo conoce con el apodo de “Mahoma”. Saludjian recordó el contexto en que se desarrolló la militancia universitaria a comienzos de los años 50 y su primer contacto con Rolando García: “Fui a la primera asamblea que se hizo, pedí la palabra y dije que había que ocuparse de la fisicoquímica pero había que darse cuenta de que para cambiar la fisicoquímica había que hacer algo para cambiar el régimen”. En una asamblea fue donde conoció a Rolando, que era uno de los oradores y quien, años más tarde, lo sumaría a su gestión en Exactas. Sin olvidarse de nombrar a dos personajes centrales en la vida universitaria de aquellos años, como el ya fallecido Alberto Gellón y Amanda Toubes, presente en el Aula Magna, Saludjian destacó la “presión estudiantil que consiguió la designación de José Luis Romero como rector interventor de la UBA y José Babini como decano interventor de Exactas”.

El cierre estuvo a cargo de Fortunato Danón, quien se reconoció como un “privilegiado por pertenecer a una generación que participó de la creación de la Facultad de Ciencias Exactas en esa época de los diez años dorados”. Con la intención de pintar el perfil estratégico y de apertu-

ra de Rolando García, relató una anécdota. “Rolando necesitaba un hombre que le condujera la construcción este edificio, el pabellón I. Alguien le hizo llegar la información de que el grupo que era ideológicamente más encontrado con quienes estábamos gestando el nuevo proyecto de Facultad podía aportar a algún profesional. El más emblemático de ese grupo era el doctor (Jorge) Brioux, a quien convoca y le dice que necesita su ayuda, que necesita un ingeniero que sea capaz, honesto y eficiente. Brioux cae a los dos días y le dice: ‘El hombre que usted busca es mi cuñado, el ingeniero Mandirola’, y Rolando nombra al ingeniero Mandirola como director de la obra de este edificio”. Cerrando con las exposiciones, Danón relató un episodio que describe la aptitud de Rolando para buscar y encontrar fondos. “Recuerdo que fue al Ministerio de Economía a ver a (Carlos) García Tudero y le dijo que necesitaba plata para construir este edificio, a lo que el funcionario respondió que no había recursos, que ya estaba todo asignado. Entonces, Rolando le dice: ‘Cuando ustedes preparan el presupuesto obviamente no es con absoluta precisión, ¿no? ¿Cuál es la cota de error que tiene usted en la estimación del presupuesto?’. El ministro dice que sería del uno por ciento, y Rolando le dice que ese uno por ciento le alcanzaba”. Danón recuerda que Rolando volvió muy feliz del Ministerio con 400 millones bajo el brazo. “Así se hizo el edificio”, concluyó con orgullo.

La jornada cerró con ágape y brindis en el hall del Aula Magna y decenas de abrazos, agradecimientos, palabras y gestos que se extendieron hasta que se cerró nuevamente la puerta del auto que devolvió a Rolando García a su casa. |



*Ex decano de Exactas por dos períodos consecutivos, impulsor de la creación de la Ciudad Universitaria, gestor de una época de esplendor científico que terminó con la “Noche de los bastones largos”, investigador en temas atmosféricos, exiliado político, discípulo de Jean Piaget en París y destacado epistemólogo, Rolando García vive y trabaja como académico en la Ciudad de México.*

## Aguas subterráneas en Argentina

# La reserva vital

por Carla García Nowak | carlanowak@gmail.com

**La disponibilidad de agua dulce es considerada uno de los grandes retos para el futuro. Los acuíferos o sistemas de aguas subterráneas, como el Guaraní y el Puelches, son fuentes de riqueza bajo la tierra. ¿Cuál es la importancia de la protección y gestión de los recursos hídricos subterráneos, cuando sólo el tres por ciento del agua del planeta es dulce? Hay camino transitado, pero aún queda mucho por hacer.**



En la naturaleza ocurren sucesos que están vinculados entre sí, pero se dan separados en el tiempo. Por ejemplo, muchos saben que la luz que vemos cuando observamos Alfa del Centauro -una de las estrellas más cercanas a la Tierra y la tercera más brillante del cielo nocturno- fue emitida hace más de cuatro años. Sin embargo, pocos saben que al beber un vaso de agua extraída del acuífero Guaraní, podemos estar tomando un líquido que ingresó a él hace 30 mil años, o más.

Cuando hablamos de acuíferos se hace referencia a aquellas formaciones geológicas con características de permeabilidad aptas para la circulación de agua subterránea. Este movimiento a través de los poros y de las fisuras naturales es muy lento -centímetros por día-. Los acuíferos pueden considerarse como embalses naturales cuya capacidad de almacenamiento puede satisfacer, mediante perforaciones o pozos, las demandas de la población, por sí solos o en combinación con el agua superficial.

En tanto estas aguas subterráneas forman parte del ciclo hidrológico, una parte de las precipitaciones que caen en la superficie se evapora, otra fracción escurre hacia

lagos y ríos, y, finalmente, un pequeño porcentaje infiltra en los acuíferos, donde se acumula. De esta manera, éstos se convierten en una especie de cisterna, es decir, una reserva en la que el agua pudo haber ingresado hace cientos o miles de años.

Estos sistemas son capaces de proveer agua para satisfacer las demandas de los habitantes; conocerlos, protegerlos y utilizarlos de manera sustentable es el gran desafío de las presentes y las futuras generaciones.

### Más allá de las fronteras

En la Argentina existen acuíferos intrafronterizos y transfronterizos; el Puelches y el Guaraní, respectivamente, son ejemplos destacados.

“El acuífero Guaraní es un sistema que trasciende fronteras y es muy atractivo por el desafío que implica conocer su complejidad. Además, lo hace aún más llamativo el hecho de que tiene aguas con edades muy antiguas, datadas mediante técnicas isotópicas en más de 40.000 mil años, es decir, cuando las aguas comenzaban a infiltrarse en la región pampeana existían los gliptodontes”, explica Jorge Santa Cruz, doctor en Ciencias Naturales con orien-

tación en Geología de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

El Sistema Acuífero Guaraní es uno de los reservorios de agua subterránea más grandes del mundo; ocupa en el subsuelo un área de alrededor de 1.190.000 kilómetros cuadrados (superficie mayor que las de España, Francia y Portugal juntas), por lo que también se lo denominó el Acuífero Gigante del Mercosur.

A este sistema ingresan anualmente alrededor de 105 kilómetros cúbicos de agua; algo más que el caudal que transporta anualmente el río Uruguay, y el equivalente a unas 40 mil piletas olímpicas de dos metros de profundidad. Asimismo, el agua total acumulada en este embalse natural equivale a una cisterna de unos 25 a 30 mil kilómetros cúbicos, que alcanzarían para llenar cerca de 10 millones de piletas olímpicas.

Esta formación geológica de dunas e interdunas de 200 millones de años -época en la que aún estaban unidas África y América- permite viajar al pasado, y para las universidades, y en particular para los geólogos, es muy interesante tener la posibilidad de estudiarla. “El sex appeal que

tiene este acuífero es justamente lo que atrajo al sistema de ciencia y técnica y lo que sirvió para despertar el interés sobre las aguas subterráneas a nivel nacional, de la misma manera en que se venía haciendo con las aguas superficiales”, explica el investigador del Instituto Nacional del Agua y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Argentina.

“El impacto que tuvo el Guaraní en lo que se refiere al mayor interés despertado sobre aguas subterráneas a través de nuevos proyectos y reglamentaciones fue enorme, se incentivó en los países, Estados y provincias dueños del recurso la conveniencia de encarar estudios y mejorar la gestión sustentable del agua subterránea”, subraya Santa Cruz, que, además, es coordinador técnico desde el 2003 del Proyecto Sistema Acuífero Guaraní.

Por su parte, la formación Puelches constituye el acuífero arenoso de agua dulce más importante de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, y es uno de los más explotados del país. El uso de este recurso es de suma importancia a partir del segundo cordón urbano del Gran Buenos Aires, mientras que en el primer cordón cumple un rol complementario al del agua corriente. A su vez, en la mayoría de las poblaciones del este de esas provincias y del subsuelo de la ciudad de Buenos Aires, es fuente de agua principal, cubriendo una superficie aproximada de 70 mil kilómetros cuadrados con aguas de calidad aceptable para el consumo humano.

Esta gran reserva de agua subterránea semi-confinada, producto de un viejo sistema fluvial antecesor del actual río Paraná, de varias decenas de metros de espesor, se encuentra a una profundidad variable entre 40 y 90 metros bajo el nivel del terreno, y presenta un alto rendimiento en los pozos.

Este sistema abarca una región con una población total de unos 10 millones de habitantes en áreas urbanas y rurales, y donde se genera más del 30% del producto bruto del país. Abastece de agua potable a toda esa región, a industrias de todo tipo, y provee riego complementario a través de

miles de perforaciones, “la gran mayoría no registradas adecuadamente y muchas, de dudosa calidad de construcción”.

### Gestión del agua

Cuando se habla de gestión realizada por los Estados se hace referencia al conjunto de guías, normas, leyes, reglamentos y actuaciones dirigidas a sostener, conservar, proteger, restaurar y regenerar esos acuíferos. Se describe además la cantidad y calidad del agua que puede ser sustraída del recurso y cómo debe hacerse, es decir, que sea de forma compatible con la demanda, con otras necesidades existentes y con el ambiente.

“Con el tema agua subterránea tenemos un gran problema, sobre todo en la Argentina y en gran parte del tercer mundo, ya que es un recurso que, salvo en países de alto desarrollo, nunca fue tratado seriamente en lo que se refiere a su conocimiento científico y estudios cuali-cuantitativos”, señala Santa Cruz.

“Necesitamos monitorearlo sistemáticamente para saber más sobre los niveles de agua, las condiciones hidroquímicas y microbiológicas y para ajustar el modelo geológico tridimensional del subsuelo a través de la estratigrafía para obtener así datos confiables del comportamiento hidráulico mediante baterías de ensayos de acuíferos y la evolución de la calidad del agua”.

De esta manera, la gestión sustentable del recurso hídrico subterráneo, según Santa

Cruz, tiene que evitar algunos aspectos derivados de una mala explotación y de la falta de protección, como por ejemplo, la reducción de caudales y niveles de presión hidrostática, el aumento de la concentración salina y, finalmente, la contaminación humana en áreas de recarga.

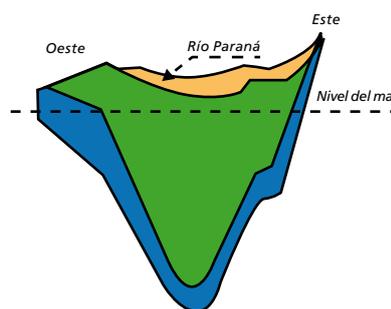
“Muchas veces se generan acciones a partir de las deficiencias, como por ejemplo el descenso de las napas o el deterioro de la calidad del agua. Además, es importante pensar que a nadie se le ocurriría explotar otros recursos naturales, como el petróleo, por ejemplo, por prueba y error, pero eso sucede muchas veces con los acuíferos a través de perforaciones realizadas sin estudios previos adecuados”, remarca el geólogo.

Por su parte, la doctora Ofelia Tuchjender, directora del Grupo de Investigaciones Geohidrológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), resalta que “se ha luchado durante mucho tiempo por la realización de un estudio detallado de todos los ambientes y sistemas de aguas subterráneas que hay en el país, que incluya un fuerte sustento científico y, a la vez, resulte también útil para los gestores y tomadores de decisión”.

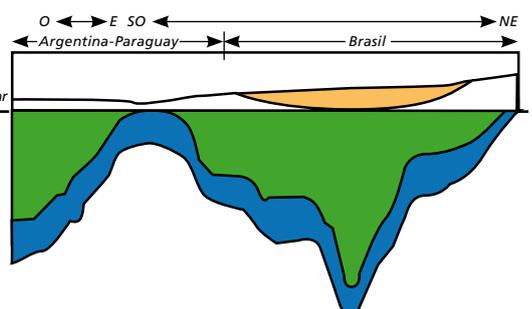
“Recuerdo que hace algunos años, los grupos que trabajamos en distintos puntos del país, como es el caso de la Universidad de Salta, la de Tucumán, la del Sur y la Universidad de Buenos Aires, entre otras, nos reunimos para sentar las bases de un plan de trabajo en este sentido, pero necesitábamos los medios

### SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ. CORTE GEOLÓGICO REGIONAL

**A – A lo ancho del sistema.**  
Orientación Este-Oeste



**B – A lo largo del sistema.**  
Orientación Sudoeste-Noreste



económicos para poder desarrollar los estudios y para iniciar la plataforma, fue así que pedimos financiamiento y no recibimos el apoyo que necesitábamos. No logramos que se comprendiera que eso era una inversión y no un gasto”.

Además, la referente del grupo que funciona en la UNL desde 1977 remarca que la gestión sólo puede llevarse adelante con el conocimiento científico de las aguas subterráneas y que “solo de ese modo podrán generarse modelos de gestión que sean concebidos para cada uno de los sistemas acuíferos, sin utilizarse recetas y acompañados de un monitoreo permanente, que permitan administrar y proteger el recurso”.

Por su parte, el coordinador técnico del Proyecto Sistema Acuífero Guaraní enfatiza que “el conocimiento hidrodinámico del agua subterránea depende del dato básico; es como los estudios del cambio climático: si no hay datos suficientes en mucho tiempo, con series muy extensas, los resultados serán inciertos”.

Santa Cruz rescata que, para una buena gestión sustentable, “debe hacerse la explotación conjunta de agua superficial y agua subterránea”, de modo que pueda utilizar-

se y regularse una u otra fuente en caso de necesidad. En Madrid explotan el agua superficial para consumo humano, pero tienen baterías de perforaciones siempre listas para épocas de déficit hídrico.

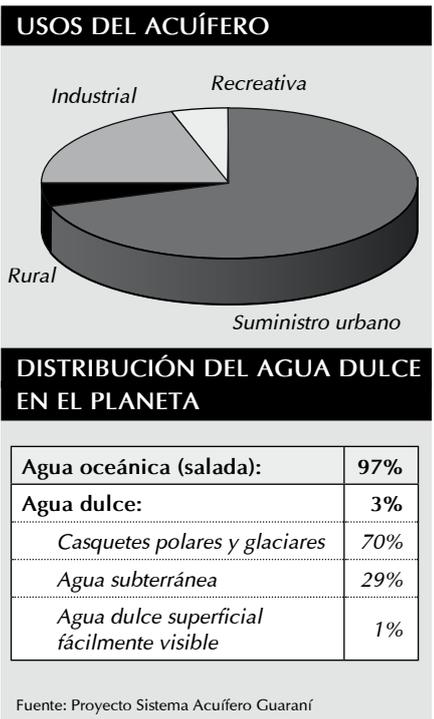
En Buenos Aires y el conurbano estamos dependiendo casi exclusivamente del Río de la Plata, según señala Santa Cruz, y se pregunta: ¿qué pasaría ante un evento extremo ecológico o químico, como el escape de sustancias tóxicas en esta fuente de agua superficial? A continuación responde: “Las plantas de tratamiento están estandarizadas y normalizadas para lo que se hace normalmente. Habría que planificar previsiones y planes de contingencia sobre la base del agua subterránea”.

En cuanto al robo del agua dulce de la Argentina, algo que se ha instalado en el imaginario colectivo, Santa Cruz remarca que el hecho de que venga alguien y se lleve el agua dulce de los acuíferos locales es muy difícil, porque se requiere que esa persona tenga varios terrenos con perforaciones para extraer un volumen interesante como para envasarla y exportarla. “Lo más importante es la gestión para tener políticas que controlen estas posibles ideas”, subraya.

agua empieza a bajar, pero no de manera horizontal como en un lago. Esto se comprueba al hacer un pozo de observación a unos pocos kilómetros y comprobar que allí el nivel de agua es normal.

“En la Argentina tenemos un ejemplo mundial de lo que es la sobreexplotación de un acuífero, que es el caso del Conurbano Bonaerense. Hasta alrededor de 1994, el nivel del agua subterránea estaba muy deprimido en esa región. Existían grandes conos de depresión que eran el resultado de la extracción de miles de pozos domésticos y perforaciones más grandes. Se había extraído demasiada agua durante décadas, y el ciclo hidrológico no las podía reponer”, explica Santa Cruz.

Además, destaca que “muchos sitios del conurbano bonaerense, que son zonas bajas e inundables, fueron ocupadas por poblaciones durante muchos años, justamente en períodos en los que el agua subterránea era sobreexplotada y su nivel estaba a varias decenas de metros de profundidad. Y una vez que se dejó de sobreexplotar y además se proveyó de agua del río de la Plata sin las obras de redes cloacales en las poblaciones, las napas volvieron a su estado natural y ahí comenzaron los problemas con la gente, ya que el agua más cercana a la superficie invadía las viviendas”.



**Riesgo de sobreexplotación**

Tuchjneider destaca que los acuíferos son vulnerables al peligro de contaminación y sobreexplotación, es decir, están expuestos a que se saque una mayor cantidad de agua que la que se repone. “Calidad y cantidad van de la mano, y hay que tratarlas juntas. Hay que estudiarlas, investigarlas y gestionarlas juntas”.

Según Santa Cruz, un acuífero se comporta de manera diferente que un cuerpo de agua superficial. “Si uno extrae agua de un solo pozo, aunque sea de manera intensiva, no puede secar el acuífero; pero, si, por ejemplo, se coloca una bomba hidráulica en un solo punto de la orilla de un lago, éste se va a terminar secando”.

Es clave aclarar que, si se explota de manera intensa un punto de un acuífero con un pozo, el nivel de agua subterránea se deprime en forma puntual, y se genera un cono de depresión hidráulico, es decir, el

**Las aguas bajan turbias**

El agua subterránea tiene una protección natural, constituida por la zona superior de suelo y subsuelo, denominada “no saturada”, que el agua tiene que traspasar para llegar al acuífero. “Hay que pensar que es un pequeño laberinto, con espacios entre las partículas del tamaño de micrones, y que hace de filtro natural, no perfecto, pero filtro al fin”, resalta Santa Cruz.

El especialista agrega que “generalmente, muchos de los contaminantes son acumulados y retenidos”. Pero alerta: “salvo algunos estudios científicos puntuales generados en centros de investigación, en general no hay un seguimiento sistemático, a nivel regional, del posible tránsito hacia los acuíferos de contaminantes agrícolas que se apliquen a gran escala”.

“Fertilizamos de más, ponemos plaguicidas en exceso. Estos elementos, como cualquier otro derivado de una actividad antrópica que esté contraindicado para la salud, hace que esa agua subterránea no pueda utilizarse como recurso”, resalta la investigadora de la UNL.

En cuanto a los eventos que puedan contaminar los recursos hídricos subterráneos, Santa Cruz relata que en un momento se pensó qué pasaría si se contaminaba el acuífero Guaraní aguas arriba, por ejemplo, en territorio brasileño. A raíz de eso se hicieron modelos matemáticos y así se pudo predecir que cualquier influencia en cien años podía llegar a un máximo de 300 kilómetros de distancia, pero de manera muy gradual debido a la dinámica de los acuíferos. “No obstante, para predecir su extensión, hay que conocer los efectos a nivel local”.

“En el caso del río Uruguay, si hubiera algún tipo de contaminación, ésta no incidiría en el acuífero, porque éste justamente en ese lugar se encuentra a mucha profundidad, a mil metros, y por encima tiene 500 metros de basalto, que es una roca dura de la época del Cretácico”, ejemplifica.

### Protección de las aguas subterráneas

Ambos investigadores coinciden en que es fundamental estudiar las aguas subterráneas tanto de manera local cuanto global. “Hoy estamos realizando estudios acerca de la geología, la geomorfología y la estructura de los acuíferos como es el caso del Guaraní, de modo de obtener la geometría de los reservorios, la hidrodinámica, hidráulica e hidroquímica completando así la conceptualización del sistema”, explica Tuchjneider.

Santa Cruz advierte: “Uno de los problemas es que no hay datos suficientes, y los pocos que hay están dispersos. En la región de llanura, por ejemplo, la entonces Obras Sanitarias de la Nación junto con la Dirección de Minería hicieron muchas perforaciones y esa información ha servido para conocer las aguas subterráneas en un determinado período hasta la década del 60, luego se dejaron de tener datos disponibles”.



### SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ

**Tipo de acuífero:** transfronterizo  
**Extensión:** aproximadamente, 1.200.000 km<sup>2</sup> en el sudeste de América del Sur  
**Ubicación geográfica:** debajo de cuatro países: Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay  
**Población en el área:** aproximadamente 23 millones de habitantes (más del 50% se abastecen del mismo).

### ACUÍFERO PUELCHES

**Tipo de acuífero:** intrafrontera  
**Extensión:** aproximadamente de 70 mil km<sup>2</sup>  
**Ubicación geográfica:** principalmente Santa Fe y Buenos Aires  
**Población en el área:** unos 10.000.000 habitantes

“Las dudas respecto al tema acuíferos son muy grandes –agrega el investigador– y el Estado y los organismos de gestión tienen también que acudir al sistema de ciencia y técnica y promover la investigación para saber más sobre las aguas subterráneas. Con el paso del tiempo, y después de la experiencia del acuífero Guaraní, hay más conciencia sobre la importancia vital de estos sistemas, pero falta mucho, y esto se relaciona con la falta de estrategias, presupuestos y de una buena gestión”.

Por su parte, Tuchjneider tiene una mirada esperanzada y confía en que se van a fomentar y generar cada vez más investigaciones en los sistemas de aguas subterráneas. “Estamos trabajando con mucha energía en la formación de recursos humanos y sé que seguiremos haciéndolo, ya que necesitamos profesionales íntegros para seguir avanzando”, finaliza. |

## La meteorología en la escuela media

# Mentes nubladas

Gabriel Stekolschik | [gstekol@de.fcen.uba.ar](mailto:gstekol@de.fcen.uba.ar)

***Hay un viento llamado Pampero. El agujero de ozono es un agujero. Los vientos se generan en los anticiclones. Estas fantasías o conceptos errados –que suelen darse por correctos en el ámbito de la educación media– denotan el desconocimiento que existe en las aulas acerca de los temas relacionados con la atmósfera. Investigadoras de la Facultad, que siguen de cerca los problemas educativos del nivel medio, revelan a través de esta nota los errores más frecuentes.***



CePro

Para romper el hielo, se puede comenzar con un concepto que muchos suponen verdadera: las nubes no están formadas por vapor. Si así fuera, el cielo se vería siempre despejado. Porque el vapor es un gas incoloro y, por lo tanto, no se puede ver. No obstante, en la escuela se insiste en utilizar la analogía del “humo blanco” que sale por el pico de la pava durante el hervor –o el que invade el baño cuando tomamos una ducha– para ejemplificar la constitución de una nube. Pero eso que vemos no es vapor. Es agua líquida en suspensión.

“Las nubes están formadas por pequeñas gotitas de agua líquida, que son producto de la condensación del vapor y, además, casi todas las nubes tienen microcristales de hielo en su interior”, aclara la doctora Celeste Saulo, investigadora del Conicet en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), y directora del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires.

Pero, si el agua y el hielo son más densos que el aire ¿cómo es posible que los Cirrus, los Stratus o los Cumulo-nimbus “floten” alegremente por las alturas? “Porque hay corrientes de aire ascendente que los sostienen”, responde Saulo.

Según la experta, estos vientos ascendentes son los que permiten que las microgotas y los microcristales, que conforman inicialmente una nube, puedan crecer paulatinamente hasta adquirir el peso suficiente para vencer la fuerza de estas corrientes ascendentes y precipitar en forma de lluvia, de nieve o de granizo.

## LO QUE MATA ES LA HUMEDAD

Hay jornadas calurosas en las cuales nos sentimos sofocados. ¡Qué día pesado!, acostumbramos rezongar. Paradójicamente, en esos momentos el aire es menos pesado que cuando el tiempo es fresco. De hecho, en los días agobiantes la presión atmosférica suele ser baja.

En realidad, la sensación de pesadumbre responde a otras causas. Por un lado, a que el aire, al calentarse, se hace más liviano y “se va para arriba”, y en consecuencia disponemos de menos cantidad de oxígeno para respirar. Entonces, parece que “nos falta” el aire.

Por otro lado, y principalmente, la sensación de agobio está relacionada con la humedad relativa del ambiente, que indica cuán saturado de vapor de agua está el aire. Cuando este parámetro atmosférico es muy elevado, es decir, cuando al aire le queda muy poco “lugar” para admitir vapor, a nuestro organismo se le hace muy difícil refrigerarse. Porque, para “sacarnos el calor de encima”, los animales de sangre caliente necesitamos evaporar agua a través de la transpiración (le transferimos energía calórica al agua de nuestro cuerpo, que entonces se evapora y “se lleva el calor”). Pero, si el aire tiene poco “lugar” para admitir nuestro vapor, nos costará más eliminarlo y la refrigeración será más dificultosa. El resultado: la sensación de agobio.

Aunque todos sabemos que las granizadas se originan en los nubarrones que oscurecen el cielo, suele creerse que las piedras de hielo aumentan su tamaño a medida que van cayendo. Sin embargo, lo que sucede es lo contrario, porque en su camino hacia el suelo el granizo se va derritiendo: “Porque desde la base de la nube hasta la superficie de la Tierra debe recorrer cientos de metros con temperaturas mayores a los 0°C. Incluso, por la menor humedad que puede haber debajo de las nubes, hay gotas de lluvia que se evaporan durante ese trayecto.”, explica Saulo.

### Tormenta de ideas

Así como afirmamos que la birome, el colectivo y el dulce de leche son argentinos, algunos creen que los chaparrones que suelen inundar la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores son nacidos y criados en el Río de la Plata. En otras palabras, que acá llueve porque estamos cerca de un espejo de agua: “Existe una idea bastante generalizada de que la lluvia es un fenómeno local, y esto es falso. El vapor de agua puede viajar muchos kilómetros”, consigna la doctora Saulo, y añade: “Una nube sería bastante ineficiente si sólo pudiera precipitar lo que se evaporó localmente”.

Curiosamente, las imágenes de los textos escolares en las que se esquematiza el ciclo del agua presentan la típica secuencia de evaporación, condensación y precipitación de ese líquido elemento como un fenómeno que ocurre en una extensión de territorio bastante limitada (ver figura).

Mal que le pese al nacionalismo vernáculo, la mayor parte de la lluvia que moja el asfalto de la avenida Corrientes no se origina en el Río de la Plata, ni tampoco en el Riachuelo. Ni siquiera exhibe pasaporte argentino: “Está bien documentado que la mayor proporción de lo que llueve acá procede del Amazonas, y también que hay otra buena parte que proviene de una zona del Océano Atlántico situada al noroeste de nuestro país”, afirma Saulo.

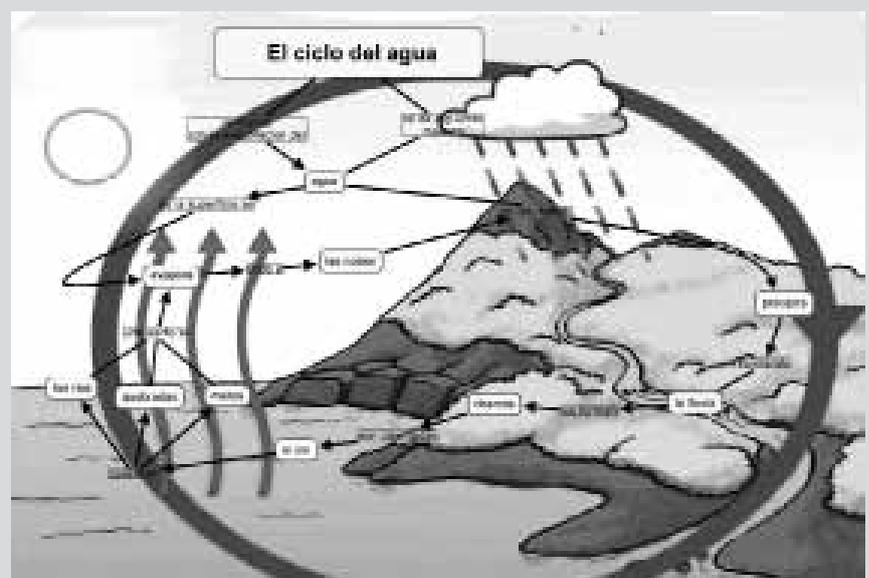
Pero si de heridas al acervo patriótico se trata, hay una que puede ser difícil de sobrellevar: el Pampero, personaje clásico de

la literatura gauchesca, que llegó a darle nombre a una marca de zapatillas y al caballo de Patoruzú, sería un viento “trucho”. “El Pampero no existe”, dispara Saulo, “no está registrado en ningún libro de meteorología porque no tiene nada en especial, simplemente es un viento del sur y no tiene ninguna característica particular”, explica.

Así, parecería que a cualquier viento que pasa por nuestras Pampas proveniente del sur se lo llama Pampero. Prueba de que no posee ninguna peculiaridad y, por lo tanto, que se presenta en formas muy variadas, es el hecho de que recibe diferentes nombres: “Pampero húmedo”, cuando produce lluvias; “Pampero sucio” cuando va acompañado de tormentas de polvo y aún no ha llovido; y “Pampero limpio”, cuando el viento se limpia de polvo por efecto de la lluvia.

“Hay libros de geografía que le dan nombre propio a los vientos, lo cual no tiene mucho sentido. El único que está documentado, porque tiene características bien diferenciables, es el Zonda”, informa la meteoróloga.

## EL CICLO DEL AGUA EN LOS TEXTOS SECUNDARIOS



Según como se presenta habitualmente este esquema en los textos secundarios, la extensión de territorio que agrupa los procesos de evaporación, condensación y precipitación parece muy limitada en comparación con los verdaderos procesos que pueden abarcar, en la realidad, miles de kilómetros.



**CÓMO SE PRODUCEN LOS VIENTOS.**

Todos sabemos que el viento es aire en movimiento. Pero ¿por qué se produce esa corriente? Para comprender este fenómeno debemos saber que, al igual que el agua, el aire es un fluido y, como tal, intentará ocupar cualquier espacio al que pueda acceder. Este movimiento no se produce en cualquier dirección, sino que, de la misma manera que lo que sucede con el agua, el desplazamiento ocurre desde el lugar en el que hay mayor cantidad (más masa) de aire hacia el lugar en el que hay menos masa.

La masa de aire está en relación directa con la presión atmosférica, porque el aire pesa y, por lo tanto, cuanto mayor sea su masa mayor será el peso que ejerce sobre la superficie de la Tierra. En otras palabras, donde hay mayor cantidad de aire hay mayor presión atmosférica. Por eso el aire se mueve desde las áreas de alta presión hacia las áreas de baja presión.

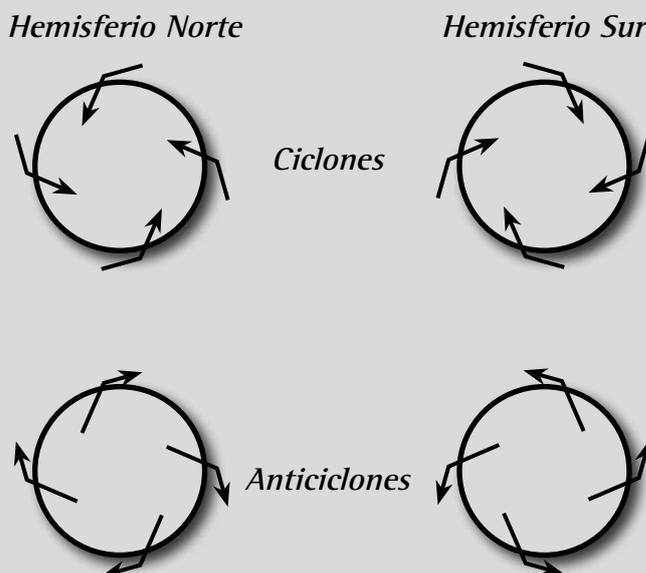
Este movimiento de aire no dura indefinidamente, sino que cesa cuando la masa de aire en uno y otro lado se equilibran o, lo que es lo mismo, cuando las presiones atmosféricas se igualan.



Esto no significa que en ese momento se acaben los vientos sobre el planeta. La radiación solar se encarga de que ello no ocurra alterando el equilibrio atmosférico en forma permanente. Porque, allí donde el sol calienta, el aire toma el calor de la superficie de la Tierra y se hace más liviano, y entonces “sube” (como el humo caliente del cigarrillo). De esta manera, el peso de la masa de aire sobre ese lugar -y por lo tanto la presión atmosférica- se hace menor respecto de la de otros lugares más o menos próximos. Y este desequilibrio ocasiona nuevos desplazamientos de aire.

Por otra parte, el movimiento de los vientos, como el de cualquier fluido, está afectado por la rotación de la Tierra. Por ello, el aire no sigue una trayectoria recta, sino que gira en torno a los centros de alta o baja presión.

*Sistemas de presión*



**Lo que el viento se llevó**

Entre las fantasías que se enseñan en el mundo escolar, la que más irrita a los expertos en meteorología es la que afirma que los centros de alta presión (anticiclones) “emiten” vientos y que los centros de baja presión (ciclones) los “atraen”. Esta concepción hace suponer que los vientos “salen” de un lugar y “entran” en otro, es decir, que habría fuentes y sumideros de corrientes de aire, lo que equivale a creer que el aire se crea y se destruye.

Por otra parte, según esta idea errónea, los vientos tendrían dirección recta, y esto no se corresponde con la realidad: “No se tiene en cuenta que la Tierra gira y que los vientos no entran ni salen, sino que giran en torno a los centros de alta y baja presión”, recalca la doctora Bibiana Cerne, investigadora del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la FCEyN (ver recuadro: *Cómo se producen los vientos*).

Para profundizar la confusión, algunos libros de texto de la escuela secundaria utilizan imágenes producidas en el hemisferio norte: “En aquella parte del mundo los ciclones y anticiclones giran en sentido inverso respecto de lo que ocurre en el hemisferio sur y, por lo tanto, se dibujan al revés. Pero acá no lo corrigen”, advierte Cerne.

Para la especialista, la falta de información y las concepciones erróneas de los profesores de educación media se debe en parte al hecho de que la meteorología forma parte de los contenidos de Geografía: “Les enseñan a los chicos que los vientos van de aquí para allá, pero nadie les explica qué es el viento y cuál es su relación con la presión atmosférica. Esto lo tiene que enseñar el profesor de física”, sostiene.

**El agujerito sin fin**

Aunque para alguien pueda sonar raro, el agujero de ozono no existe. No hay un agujero de ozono.

Esto no significa que debemos dejar de preocuparnos por la incidencia de los rayos ultravioleta (UV), o que el Protocolo de Montreal -que regula las emisiones de

sustancias que agotan el ozono de la atmósfera- haya tenido resultados exitosos. Todo lo contrario. Todavía queda mucho por hacer en este sentido.

Pero, suponer que existe un agujero es creer que hay algo sólido que ha sido agujereado. Y el ozono es un gas.

En verdad, esta concepción errónea es responsabilidad de los científicos, que utilizaron la metáfora de la “capa” de ozono para simbolizar una franja de la alta atmósfera en la que ese gas se concentra en mayor proporción: “La palabra correcta es ‘filtro’. Porque eso es precisamente lo que hace el ozono estratosférico: filtrar los rayos UV, es decir, deja pasar una parte y otra parte no”, señala Bibiana Cerne, y añade: “De la misma manera, lo apropiado es hablar de ‘adelgazamiento’, y no de agujero”. Según la experta, el desconocimiento de que se trata de un adelgazamiento global puede llevar a que los alumnos no comprendan cómo puede afectarles el “agujero” de ozono de la Antártida.

Un trabajo publicado por Cerne y otros autores en la Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, que analiza monografías y murales realizados por alumnos secundarios -en el marco de un concurso auspiciado por la Asamblea General SPARC (Stratospheric Processes and their Role in Climate) que se celebró en Buenos Aires en el año 2000- revela, entre otras cosas, que los estudiantes no son capaces de diferenciar el proceso de adelgazamiento de la capa de ozono del fenómeno de calentamiento global. Según el artículo, la explicación más común que dan los jóvenes es que “el ‘agujero’ de la capa de ozono permite que llegue mayor radiación UV a la Tierra y esto produce un aumento del efecto invernadero cuyo resultado es el calentamiento global”.

Pero, en realidad, el calentamiento del planeta es consecuencia del aumento de los gases de efecto invernadero. Esta confusión (que el incremento de la radiación UV es el responsable directo del efecto invernadero) derivaría de la lectura de ciertos textos: “Hay libros escolares que hablan del ozono como ‘el veneno vital’ y, más allá de que un veneno no puede ser vital, se está mezclan-



do la idea de que el ozono estratosférico protege la vida con el concepto de que, a nivel del suelo, es un gas de efecto invernadero”, considera Cerne.

### Los límites del malentendido

El concepto de “capa” de ozono, introducido por los científicos, dejó de lado el hecho de que, en realidad, este gas no sólo está presente en la estratósfera, sino que está distribuido por toda la atmósfera. De hecho, aunque en pequeña proporción, hay moléculas de ozono moviéndose a nuestro alrededor.

Pero, porque es imposible analizar y comprender todo el Universo al mismo tiempo, cuando se quiere efectuar una investigación se hace necesario delimitar el campo de estudio. No obstante, los límites son arbitrios humanos. La naturaleza ignora las fronteras.

Esta necesidad de definir, demarcar y clasificar lo que nos rodea invade particularmente el ámbito escolar impidiendo que el conocimiento se transmita -y, por lo tanto, se adquiera- con un criterio flexible. Por ejemplo: “Las regiones climáticas se enseñan con límites fijos, como si fueran países”, observa Cerne. “¿Y cuáles son los límites de la región Pampeana? -se pregunta, y sigue: “Porque eso depende, entre otras cosas, del clima, de la cantidad de lluvia caída, que puede variar año tras año, por lo cual los bordes se corren todo el tiempo. Sin embargo, en general, en los libros escolares aparecen dibujados los límites de cada región”, concluye.

Una forma “limitada” de enseñar que conduce a una manera restringida de aprender, y a una paradoja: “Aunque digan que no los quieren para su vida cotidiana, a la hora de estudiar, los chicos piden que les estipulen límites”, sonríe Cerne. ─

*Mal que le pese al nacionalismo vernáculo, la mayor parte de la lluvia que moja el asfalto de la avenida Corrientes no se origina en el Río de la Plata, ni tampoco en el Riachuelo. Ni siquiera exhibe pasaporte argentino: “Está bien documentado que la mayor proporción de lo que llueve acá procede del Amazonas, y también que hay otra buena parte que proviene de una zona del Océano Atlántico situada al noreste de nuestro país”*

### COMO TURCO EN LA NEBLINA

¿Por qué el aire es más frío en las alturas, donde el sol está “más cerca”, que aquí abajo? Porque, contrariamente a lo que la intuición puede indicarnos, la atmósfera se calienta de abajo hacia arriba: “El aire es un muy mal conductor del calor, entonces no se calienta por conducción de la radiación solar, sino por contacto con la superficie terrestre y por absorción de la radiación de onda larga, también proveniente de la Tierra”, ilustra Celeste Saulo.

Según Bibiana Cerne, este fenómeno ha dado lugar a otra concepción errónea: “Se dice que ‘la niebla se levanta’ o que ‘cae el rocío’, y eso es falso”.

Como las nubes, la niebla contiene agua en suspensión -“por eso nos mojamos cuando estamos en contacto con ella”, indica- y, a medida que el sol calienta el suelo desde el amanecer, el aire que está más cerca de la superficie comienza a aumentar su temperatura haciendo que las gotitas de agua se evaporen. Por eso la bruma se disipa de abajo hacia arriba.

De la misma manera, a medida que oscurece y disminuye la temperatura del suelo, el aire se va enfriando, y el vapor que contiene -responsable de la humedad ambiente- comienza a condensarse. Primero se enfría el aire más cercano al piso y luego, progresivamente, las “capas” superiores.



## ¿Por qué la nieve es blanca?

Responde: **doctora Silvia Ledesma**, profesora en el Laboratorio de Procesado de Imágenes, del Departamento de Física de la FCEyN.

La nieve está formada por agua, que es incolora y transparente. Sin embargo, la vemos blanca. Lo que sucede es que está compuesta por cristales de hielo, que tienen cierta separación entre sí. De este modo, la luz que incide sobre esos cristales sufre múltiples reflexiones, y se dispersa en todas las direcciones. Esos cristales hexagonales actúan como millones de espejos. El agua no refleja un color en particular, es decir, no absorbe una longitud de onda preferencial. Si sobre ella incide luz blanca, reflejará todos los colores del espectro que componen la luz, de ahí que se vea blanca.

Si uno compacta la nieve, y la transforma en hielo, la primera capa pasa a ser transparente. Al quitar el espacio entre los

cristales, éstos quedan “aplastados”, y se elimina la reflexión entre ellos.

El fenómeno es similar a lo que sucede con un vidrio esmerilado. Si uno esmerila o pule la superficie de un vidrio transparente, éste se percibe como si fuera blanquecino. Ello se debe a que las rugosidades producidas reflejan la luz en diferentes direcciones, la dispersan, y ello hace que el vidrio se vea blancuzco. Cualquier superficie transparente, cuando es esmerilada, comienza a dispersar la luz, y pasa a tener una apariencia blanquecina.

Si mojamos un vidrio rugoso, éste vuelve a ser transparente. Esto sucede porque el agua tiene un índice de refracción parecido al vidrio, entonces, mientras éste tenga

agua en la superficie, de alguna manera, se eliminan las rugosidades y se vuelve a ver transparente.

La nieve se ve blanca del mismo modo en que se ven blancas las nubes, a pesar de estar formadas por agua. En realidad, éstas se componen de pequeñas gotas de agua y de agua congelada, que operan como múltiples espejos que reflejan y dispersan la luz en todas las direcciones. El fenómeno también se observa en la espuma del mar o en la de las gaseosas o la cerveza. En este caso son las burbujas en la superficie de estos líquidos las que reflejan la luz que incide sobre ellas (por general luz blanca) en múltiples direcciones produciendo el efecto blanquecino.



## ¿Se puede volver a congelar un alimento que ya fue descongelado?

Responde: **licenciada Catalina Romano**, del servicio de Higiene y Seguridad, de la FCEyN

Se puede, pero hay que tener algunas precauciones para evitar que el alimento se contamine con bacterias. Para prevenir o limitar esa contaminación es conveniente descongelar en la heladera. Por un lado, la descongelación lenta hace que se pierda menos agua. Pero, lo importante es que asegure que la parte que se descongela primero no esté a más de 4 grados, que es la temperatura de heladera. Lo importante es que el alimento no alcance las temperaturas de peligro, entre 5 y 60 grados. Fuera de la heladera, la superficie del producto pasa a temperatura ambiente, y ello favorece el crecimiento de las bacterias que, en el freezer, se man-

tenían en estado latente. Si ese alimento se vuelve a congelar, va a poseer una carga mayor de bacterias. Cabe destacar que sólo la cocción mata a los microorganismos.

Para descongelar en forma rápida se puede recurrir al horno a microondas, o colocar el alimento bajo el chorro de agua fría, pero siempre que sea para cocinar inmediatamente.

Un alimento que se había introducido en el freezer ya cocido, se puede volver a congelar si fue descongelado en la heladera. A su vez, convendría recalentarlo a 74 grados para matar las bacterias que pudieran

haber crecido. Los alimentos con mayor contenido de proteínas son más susceptibles de contaminación. Las bacterias “prefieren” los productos ricos en humedad, en proteínas, y que no sean ácidos.

Por otro lado, vale la pena señalar que la descongelación también incide en la textura de los alimentos. La congelación casera, que es lenta, hace que se formen cristales grandes, que rompen la textura; a diferencia de la congelación industrial que, al ser rápida, forma cristales de agua muy pequeños, que no llegan a dañar el alimento. Si uno vuelve a congelar un producto que ya fue descongelado, no hay garantías de que mantenga su textura.

## Las enseñanzas del Maestro Ciruela

# Mitos, mentiras y fisiología cardiovascular

Casi todos los mitos se basan en creencias o, a veces, en hechos reales. Es tarea de los historiadores descubrir cuánto hay de fantasía, cuánto de verdad o mentira en cada historia popular. Durante mis investigaciones encontré un caso que les ahorrará trabajo, porque se trata de una imposibilidad física que hasta que yo la descubrí no había salido a la luz.

Se cuenta que Galileo Galilei descubrió la ley del período del péndulo observando las pequeñas oscilaciones de los candelabros de la iglesia que frecuentaba. Pero vayamos por partes.

Primero: Galileo tenía absoluta conciencia de la importancia de encontrar la ley que gobierna los movimientos pendulares. Se sabe que estaba suscripto a las revistas "Nature" y "Science" y, leyéndolas todas las semanas, era imposible que ignorase que la comunidad científica aguardaba con urgencia una solución para ese problema crucial.

Segundo: sí es cierto que Galileo concurría a la iglesia, aunque lo hacía empujado por la tradición y el qué dirán. Y, además, sabemos que aborrecía las prédicas del párroco y más aún las de los clérigos de altas jerarquías que asistían como visitantes. También es cierto que para no morir de opio, observaba las pequeñas oscilaciones de los candelabros que pendían de diferentes alturas en diferentes naves del templo.

Tercero: no es cierto que Galileo contase con algún cronómetro ni artefacto que midiese el tiempo con suficiente precisión, porque los que él mismo inventó datan de una década posterior (cuanto menos) a los episodios del péndulo.

Cuarto: sí es cierto que del único método del cual disponía Galileo para medir el tiempo de oscilación de los cuerpos colgantes era su propio corazón, que auscultaba con su mano izquierda sobre el pecho (varios testigos concuerdan en este hecho).

Quinto: pero es mentira que con tal método hubiese podido hallar la constancia del período, o la independencia de la masa, o la relación cuadrática directa con la longitud de pendiente. Pues, cada vez que Galileo se aproximaba a un descubrimiento de la talla de los antedichos, su ansiedad le generaba una leve taquicardia que malograba los cálculos. La aceleración del corazón enmascaraba las constancias temporales.

Sexto: lo que Galileo realmente descubrió, sin saberlo, fue el Regulador de Watt,

también llamado de *feed back* negativo, ya que, cuando el descubrimiento de las leyes del péndulo se alejaban (inconscientemente malogradas), el corazón volvía a latir con su frecuencia normal rumbo a otro emprendimiento... pero, ya estando sobre la pista, volvía sobre el cálculo y el importante hallazgo volvía a aproximarse. Pero no por mucho, porque el entusiasmo de la cercanía volvía a acelerar el ritmo de pulsación. *And so on...*

Maestro Ciruela



## Aquí estuvo Darwin

Hasta fines de noviembre, en el hall central del Pabellón II de Ciudad Universitaria se podrá ver la exposición “Darwin en la Argentina”, una muestra que recrea el paso del naturalista inglés por nuestro país con motivo de celebrarse este año el 200 aniversario de su nacimiento y el 150 de la publicación de su obra *El origen de las especies*.

Charles Darwin pasó casi tres años recorriendo nuestro país, frente a los pocos días que permaneció, por ejemplo, en las Islas Galápagos. El objetivo de la exposición es mostrar la importancia del paso

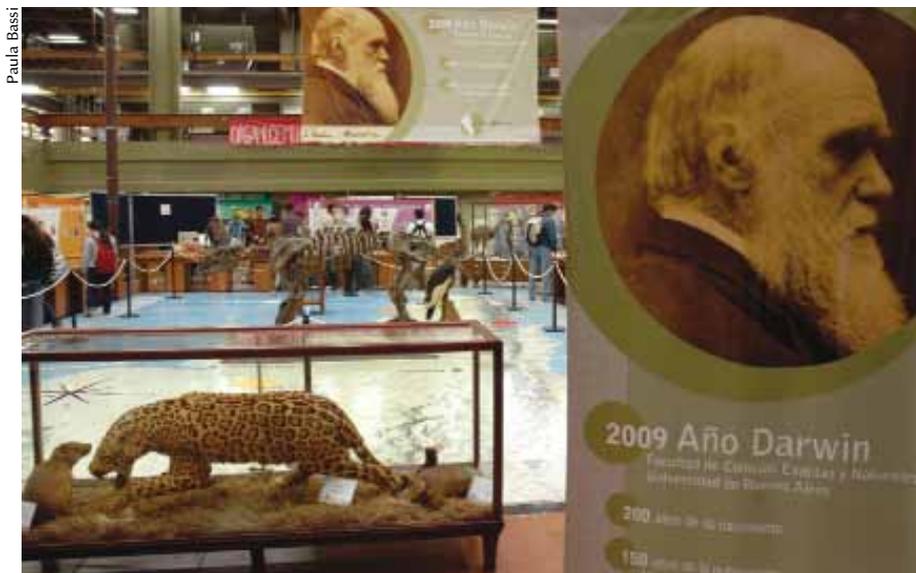
del naturalista inglés Charles Darwin por tierras gauchas, sus observaciones y los aportes científicos que se desprendieron de su experiencia. Entre el material exhibido, se encuentra un perezoso gigante y muchos otros registros fósiles, afiches explicativos y copias de sus escritos. El recorrido que propone la muestra es a través de un mapa gigante de la Argentina que refiere a los distintos puntos visitados por Darwin. La entrada es libre y gratuita. Para más información, dirigirse a [darwinenlaargentina@fcen.uba.ar](mailto:darwinenlaargentina@fcen.uba.ar).

## Historia en una revista



Salió un nuevo número de la publicación “La ménsula”, editada por el Programa de Historia de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. En esta ocasión, el tema central gira a partir del debate educativo “laica-libre”, “estatal-privada”, generado en la década del 50 cuando no existían las universidades privadas y la cuestión de la enseñanza se debatía con vehemencia. Escriben Eduardo Díaz de Guijarro, Arquímedes Piol y Carlos Borches.

Este último número y los anteriores pueden descargarse desde: <http://www.fcen.uba.ar/segb/historia/lamensula>



Paula Bassi

## Para que lleguen más

En marzo terminó la primera etapa del Programa de Ingresantes CBC-Exactas, diseñado para acompañar a los estudiantes que aspiran a seguir carreras de la Facultad y que se propone disminuir la fuerte deserción que se produce durante el CBC. Esta primera etapa consistió en un curso optativo de nivelación de matemática (reconocida como la materia que más problemas trae a los estudiantes durante la cursada) dictado por docentes de Exactas y elaborado por especialistas de la Facultad y del CBC. Los inscriptos fueron 650 y terminaron el curso 450 alumnos.

Ahora el programa continúa con una segunda etapa, que consiste en un dispositivo diseñado para acompañar –durante todo su recorrido por el CBC– a los aspirantes a las carreras de la Facultad: “Se trata de un sistema de tutorías que no sólo está pensado como un acompañamiento académico sino, además, como una manera de

hacer que el ambiente universitario se haga más amigable para el ingresante”, explicó Claudia Zelman, directora de Orientación Vocacional de Exactas.

El Programa Ingresantes es una iniciativa de la Facultad, realizada en coordinación con el CBC y con el apoyo del Ministerio de Educación de la Nación.



Diana Martínez Liáser

# Dengue actualizado

James Gathany



Especialistas de distintos grupos de investigación de la Facultad y del Conicet, con lugar de trabajo en Exactas, realizaron un informe conjunto denominado “El dengue, el *Aedes aegypti* y la prevención”, donde presentan, con lenguaje claro y preciso, información para conocer la actualidad de la enfermedad, su futuro posible y la necesidad de control sobre la reproducción del mosquito.

El informe lleva la firma de los investigadores del Laboratorio de Eco-Epidemiología y de la Unidad de Ecología de Reservorios y Vectores de Parásitos. No es considerado

un trabajo definitivo sino que está sometido al surgimiento de nuevas dudas en la población, a la incorporación de datos complementarios de acuerdo a la actualidad que presente la situación sanitaria y a la participación de otros especialistas en el tema.

Este trabajo tiene la intención de constituir una contribución de la universidad pública frente a las problemáticas concretas que afectan a nuestra sociedad.

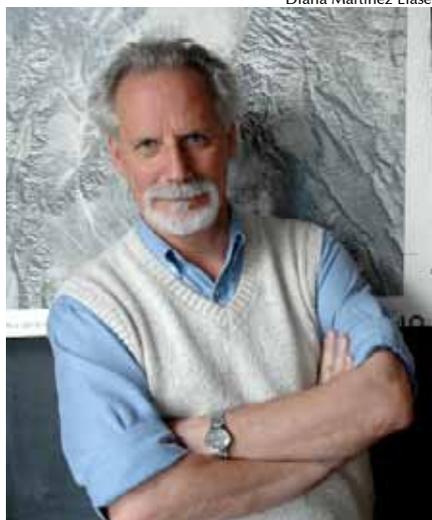
El informe puede descargarse en: <http://exactas.uba.ar/download.php?id=899>

# Consejero premiado

Diana Martínez Llaser

El geólogo José Sellés Martínez recibió el premio “Juan J. Nágera” otorgado, en unanimidad, por la Asociación Geológica Argentina en ocasión del XVII Congreso de la institución, que tuvo lugar en la ciudad de San Salvador de Jujuy a fines de año pasado. Este premio “Juan J. Nágera” (que hace referencia a uno de los primeros y más destacados científicos formados en la Argentina), fue instaurado con el objetivo de reconocer la labor de los geólogos en cuanto a las actividades de divulgación del conocimiento de su disciplina.

Sellés Martínez es profesor e investigador de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y participa del Consejo Editorial de EXACTAMENTE. Es el creador e impulsor del reconocido proyecto AulaGEA, destinado a la concepción y producción de ma-



teriales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra en los niveles escolares y del profesorado.

# Biotechnología industrial



El jueves 28 de mayo quedó formalmente inaugurada la especialización en Biotechnología Industrial que crearon de manera conjunta la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI. En el acto, que tuvo lugar en el auditorio del INTI, estuvieron presentes el ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, Lino Barañao; Jorge Aliaga, decano de Exactas; y, por el Instituto, Cesar Zunini, director del Programa de Desarrollo y el Alberto Díaz, director del Programa de Biotechnología.

“Hay carreras de grado y de postgrado en biotechnología pero mayoritariamente orientadas hacia la biología molecular aplicada. Esta carrera busca fortalecer la etapa posterior de desarrollo de un proyecto productivo. En realidad, a partir de la respuesta masiva que hemos tenido de interesados, creemos que hay una cierta área de vacancia en la oferta de capacitaciones en este sentido”, destacó la directora de la Carrera, Miryan Cassanello. Para mayor información dirigirse a [cebi@de.fcen.uba.ar](mailto:cebi@de.fcen.uba.ar).

# El libro de Rolando

“¿Hacia dónde van las universidades?” es el título del libro de Rolando García que publicó recientemente la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Este volumen es una edición basada en la charla, de igual nombre que el libro, dictó García en mayo de 2006 en el Aula Magna del Pabellón II de Exactas.



Destacado epistemólogo, además meteorólogo, García plantea en este libro sus principales preocupaciones acerca de la educación universitaria y contraponen los modelos actuales con aquel que se consolidara en la década del 60 durante su decanato en Exactas.

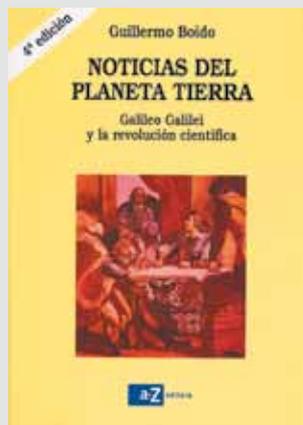
**Darwin**  
**El descubrimiento**  
**del árbol de la vida**

**NILES ELDREDGE**  
Katz, 2009  
Buenos Aires, 288 páginas



**Noticias del planeta Tierra.**  
**Galileo Galilei**  
**y la revolución científica**

**GUILLERMO BOIDO**  
A-Z Editora, 2008  
Buenos Aires, 398 páginas



**Viva la ciencia**

**ANTONIO MINGOTE y**  
**JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON**  
Crítica, 2009  
Buenos Aires, 270 páginas



Las celebraciones del bicentenario del nacimiento de Darwin, el 12 de febrero de 1809, traen consigo este libro biográfico que muestra la dimensión humana del autor de la Teoría de la Evolución.

A la luz de los cuadernos de notas que Darwin escribió a lo largo de su trayectoria científica, Eldredge propone un recorrido biográfico que indaga en qué momento de su vida logró la síntesis de su Teoría, qué pensamientos lo condujeron, qué motivos lo llevaron a guardar silencio por más de 20 años, qué dudas, tormentos y vacilaciones lo acompañaron en la gesta.

El derrotero nos muestra a un científico descarnadamente sincero; de puño y letra surgen las dudas, las hipótesis, y las dificultades durante sus investigaciones. Por momentos parece demasiado estricto consigo mismo: él fue su principal oponente. Pero también surge el Darwin humano, político, filósofo... absolutamente inmerso en la problemática de la sociedad y la religión: las teorías creacionistas que enfrentó sin concesiones dominaban el pensamiento del mundo.

*Darwin, El descubrimiento del árbol de la vida*, ameno, lineal, sencillo, es un libro ideal para dos propósitos: acercarse al hombre que propuso la Teoría, y aprender un poco más sobre esa teoría, la más fecunda sobre el funcionamiento de la vida.

Este libro de Guillermo Boido, publicado originalmente en 1996, aparece ahora en su cuarta edición, con algunas actualizaciones y la ampliación de la bibliografía. Para el autor, no hay un solo Galileo, sino muchos. Hay un Galileo arquetipo del científico moderno, que opone el método experimental a la mera especulación. Pero esa imagen tradicional fue cuestionada a principios del siglo XX, cuando algunos historiadores afirmaron que en realidad Galileo era continuador de una tradición establecida por sabios medievales, que tres siglos antes habían colocado las bases de la ciencia moderna. En esta línea, Galileo ya no era visto como un revolucionario, sino, apenas, como el continuador de una tradición.

Otros historiadores, por su parte, negaron el carácter “empirista” de Galileo, quien habría sido más bien un teórico. Para Boido, la figura de Galileo se niega a someterse a todo reduccionismo filosófico o ideológico.

Boido niega que Galileo sea un simple continuador de una tradición medieval: si bien adquirió los conceptos de sus antecesores, esa influencia no afecta la originalidad que tradicionalmente se le ha asignado.

El libro, profundo y muy bien documentado, que combina el relato de hechos de la biografía del sabio con el desarrollo de sus conceptos, constituye un completo estudio sobre Galileo y la ciencia de su época.

Es un libro en formato grande, a todo color, con dibujos del ilustrador y periodista Antonio Mingote, uno de los autores, junto con el profesor de Historia de la Ciencia José Manuel Sánchez Ron; ambos españoles. *Viva la ciencia* puede entenderse como una historia de la actividad científica, como una descripción de descubrimientos y de su relevancia, pero es mucho más que eso, porque sus autores son evidentes amantes de la ciencia, y sus páginas no sólo comunican datos concretos sino que se proponen demostrar cuán interesante, atractiva y fundamental es la ciencia para la especie humana.

El marco del texto permite adivinar que los autores pensaron el libro para un público juvenil pero, si bien se acerca por momentos, y con mucha formalidad, a ciertos códigos etarios o propone consignas “formativas”, resulta evidente que *Viva la ciencia* puede ser leído sin ningún complejo porque jóvenes y adultos, legos y no tanto, que tengan ganas de dejarse tentar por “una de las habilidades más maravillosas que hemos inventado y desarrollado los humanos”, según definen a la ciencia los autores.

En sus páginas, Mingote y Sánchez Ron (ambos miembros de la Real Academia Española), proponen una respuesta atravesada por la historia a la pregunta “¿qué es la ciencia?”, destacan a las matemáticas, revelan los estudios del cosmos y del camino para descifrar los misterios de la vida.

# Doblando mapas

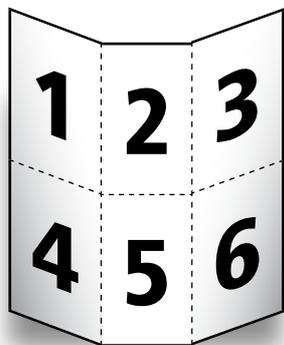
Por Pablo Coll [pecoll@gmail.com](mailto:pecoll@gmail.com)

¿Dónde estamos? ¿Para dónde vamos? Desplegamos la hoja de ruta y ya está todo más claro. Pero, cuando tratamos de volver a doblar la hoja de ruta a su posición original, algo no encaja. No, así no era. Está mal doblada. Desplegamos nuevamente y buscamos otra forma de plegar, pero volvemos a meter la pata: se nota que así no era.

¿Cuántas veces podremos equivocarnos hasta dar con el plegado original? No podemos dar una cota ya que el hombre es un animal que se tropieza dos veces con la misma piedra. Pero, si suponemos que no hacemos dos veces el mismo plegado, ahora la respuesta depende de la cantidad de dobleces en que esté plegado el mapa.

Supongamos que el mapa estuviera plegado con dos dobleces verticales y uno horizontal.

Esto da seis paneles que han de terminar superpuestos uno sobre el otro.



Numerados de esta forma una vez plegado, si examinamos el orden en que quedaron los seis paneles, podemos caracterizar las soluciones. No importa si quedan para adelante o dados vuelta para atrás, obtendremos una permutación de los números de 1 a 6. Pero eso no nos dice mucho sobre cómo fueron obtenidos esos plegados. ¿Cuántas de las 720 permutaciones de los números de 1 a 6 se podrán obtener plegando el mapa? ¿Se animan a conjeturar un número? Tómese un tiempo, ármese una hojita de papel con los 6 paneles y trate de encontrar cuántas soluciones distintas tienen el número 1 arriba.

Se sabe que existen 60 formas de plegar un mapa así, que pueden clasificarse en 6 grupos de 10 soluciones cada una, con cada número arriba. Esto quiere decir que hay 10 plegados distintos que dejan el 1 arriba.

¿Podrán obtener los siguientes plegados?

1 2 3 6 5 4 // 1 2 5 4 6 3 // 1 3 2 5 6 4  
1 4 3 6 5 2 // 1 4 5 2 3 6 // 1 4 5 6 3 2 // 1 4 6 5 2 3

Algunas soluciones involucran movimientos que van más allá de plegar el mapa sobre uno de los dobleces, como por ejemplo tomar un grupo de números juntos e insertarlo entre otros dos. Esto con la flexibilidad que da el papel, pero sin romperlo ni rasgarlo. Por ejemplo estas tres:

1 3 6 4 5 2 // 1 2 5 6 3 4 // 1 6 3 2 5 4

Con esto se completan las 10 soluciones del mapa de 2 x 3 con el panel 1 arriba.

Se sabe que el mapa de 2 x 4 paneles tiene 320 soluciones y el de 2 x 5 tiene 1980.

El problema general no ha sido aún resuelto, se ha contado mediante programas de computadora que un mapa plegado en una grilla de 4 x 4 paneles tiene 300.608 formas distintas de plegarse.



## EL MÉTODO DEL SEÑOR MIURA

¿Es la mejor forma de plegar un mapa ésta de hacerlo por líneas verticales y horizontales? ¿Podemos evitar estos problemas y confusiones que surgen de desplegarlo y volverlo a plegar?

Quien se cuestionó esto fue un astrofísico japonés, Koryo Miura, que descubrió en 1970 una nueva forma de plegar el papel. Con esta nueva forma, es mucho más fácil de plegar y desplegar el papel y no se presta a confusiones el orden de doblado, porque simplemente se hace todo al mismo tiempo. Por estas propiedades se la utiliza en la confección de paneles solares desplegables, en satélites y naves espaciales. [http://es.wikipedia.org/wiki/Pliegue\\_de\\_mapa\\_de\\_Miura](http://es.wikipedia.org/wiki/Pliegue_de_mapa_de_Miura)

*Llamemos A al doblez vertical que separa el 1 y 4 del 2 y 5; B al doblez vertical que separa al 2 y 5 del 3 y 6; y finalmente C al doblez horizontal que separa 1, 2 y 3 de 4, 5 y 6.*

*Podemos plegar por A, B y C en distintos órdenes, a veces formando valles y otras veces formando montañas, y generar varias soluciones. La notación indica qué plegamientos se hace y luego en qué sentido.*

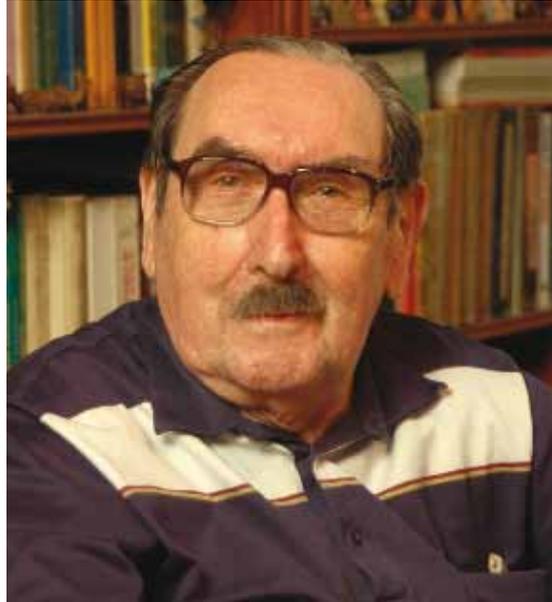
1 2 3 6 5 4 AmBvCm  
1 2 5 4 6 3 AmCmBv  
1 3 2 5 6 4 AmBmCm  
1 4 3 6 5 2 CmBmAm  
1 4 5 2 3 6 CmAmBv  
1 4 5 6 3 2 BmCmAm  
1 4 6 5 2 3 BvCmAm  
1 3 6 4 5 2 CmAm (Insertando 3 y 6 entre 1 y 4)  
1 2 5 6 3 4 AmCm (Insertando 6 y 3 entre 5 y 4)  
1 6 3 2 5 4 AmCm (Insertando 6 y 3 entre 1 y 2)

**Soluciones**

# Adiós, Gregorio

por Armando Doria  
Foto: Archivo CePro

Gregorio Klimovsky, integrante del Consejo Editorial de EXACTamente desde su primer número, murió el pasado 19 de abril. Con su desaparición, se despertaron los recuerdos de su paso por las decenas de centros de estudios en los que fue profesor y sus principales cartas académicas, que son múltiples y casi en su totalidad nacidas de su capacidad como autodidacta. El recuerdo que surgió de Exactas fue, principalmente, el de sus primeros años de investigación y docencia relacionada con la matemática y de su posterior designación como decano normalizador, una vez retomada la democracia. Pero, más allá de los testimonios relacionados con la Facultad, se difundieron otros variados, que permiten esbozar un perfil intelectual complejo, del que pueden ser indicios su biblioteca personal, formada por más de nueve mil ejemplares, y su completa colección de música contemporánea.



Hace unos tres años, Klimovsky habló con un grupo de psicoanalistas acerca de sus múltiples intereses en una larga entrevista que puede consultarse en la web: "En realidad, tengo varias vocaciones, y bastante fuertes. No recomiendo en general a la gente que atraviese este fenómeno, porque no disponemos de tanto tiempo para leer y si uno quiere hacer las cosas en serio tiene que estudiar mucho. Yo me he dedicado a filosofía y matemática, a filosofía y biología, me he ocupado de epistemología de las ciencias sociales, me he ocupado de psicoanálisis y me he ocupado de cuestiones de politología y de derechos humanos. En realidad en algún sentido, diría que lo mío, antes que nada, es la cuestión de los derechos humanos". Así como lo indican sus propias palabras, la lista de sus incumbencias fue extensa, y no sólo les dedicó esfuerzo sino que también obtuvo reconocimientos: el de su pares, por ejemplo, se desprende de la gran cantidad de cargos de profesor que ocupó a partir de concursos en centros de estudios de todo el país y de Latinoamérica; y los honoris causa que recibió en cinco universidades nacionales y en dos privadas. Fue convocado a participar de la Conadep y de la Asamblea Permanente por los Derechos Humanos. También obtuvo un total de cinco premios Konex a lo largo de su carrera y fue nombrado ciudadano ilustre de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Con una fuerte formación en matemática de la mano de Rey Pastor y Misha Cotlar, Klimovsky fue uno de los actores de la "época de oro" de la UBA, que tuvo a Exactas como paradigma. Se lo destaca como el introductor en la Argentina de la lógica matemática y las últimas corrientes epistemológicas.

Sus colegas y discípulos lo recuerdan como un hombre distante pero siempre cálido, respetuoso, irónico y buen polemista. El profesor Guillermo Boido, investigador en Historia de la Ciencia, amigo y coautor de muchos trabajos junto a Klimovsky, lo recordó la semana pasada como un hombre "comprometido con la cultura y la sociedad. Fue un referente en política científica, educación y derechos humanos, un tipo muy generoso que muchas veces ha pagado viajes de su bolsillo para que sus discípulos se formaran en el exterior". De aquí surge un dato que se comenzó a comentar con frecuencia inmediatamente después de la muerte del epistemólogo: la existencia de la "Fundación Klimovsky". De acuerdo a más de un testimonio, "la fundación" era el nombre humorístico que el propio Klimovsky le daba a sus donaciones, y ante las cuales pedía la mayor de las discreciones. "Fue muy querible detrás de una especie de pantalla" -dijo también Boido-. "Detrás de ese hombre de aire académico había un ser humano excepcional". Una discípula suya, la investigadora en Filosofía de la Ciencia Gladys Palau, rescató de su maestro la "capacidad de transmitir tanta humanidad sin necesidad de tratarse de 'vos' ". Y relacionó esa discreción, racionalidad y formalidad con su fallecimiento: "Esto de no hacer ni siquiera un velatorio tiene que ver con eso", declaró. Klimovsky, por expreso pedido suyo, no fue velado. Las cenizas fueron esparcidas en el mismo cementerio en el que fue cremado.

Quienes hacemos **EXACTamente** no sólo extrañaremos la presencia de Gregorio, sino que también mantendremos vivo su recuerdo. | 

# CIENTIFICOS

## INDUSTRIA ARGENTINA



El programa de Ciencia sigue en la televisión pública, con nuevos informes, secciones y columnistas

**CON ADRIÁN PAENZA**

**SÁBADO**  
**20 Hs.**



tv.pública

[www.canal7.com.ar](http://www.canal7.com.ar)





**Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires**

- Con el compromiso de promover la transferencia de conocimiento al sector productivo, apoyando a nuestro país a enfrentar los nuevos desafíos tecnológicos, la Secretaría de Investigación Científica y Tecnológica promueve el emprendedorismo de base tecnológica a través de **incubacén**.

Si sos graduado, estudiante o docente de Exactas y tenés una idea de servicio o producto innovador podés participar de nuestras convocatorias. Próxima convocatoria de ideas: **marzo 2009**.

- BIOTECNOLOGÍA
- NANOTECNOLOGÍA
- TICs
- PLANES DE NEGOCIOS
- PROPIEDAD INDUSTRIAL
- MATERIALES
- MATEMÁTICA
- METEOROLOGÍA
- MARCAS
- COMERCIALIZACIÓN
- FINANCIAMIENTO
- QUÍMICA
- GEOLOGÍA
- BIOLOGÍA

