# EXACTA mente

La revista de divulgación científica

*Redes complejas*
Tras los rastros de los desaparecidos

*Especies en extinción*
El macá tobiano en peligro

*Flores y polinizadores*
Una asociación fructífera

*Entrevista*
Gerry Garbulsky

*El extraño caso de los* killis

## *Lluvia de peces*

Año 19 | Nº 51
Diciembre 2012
ISSN papel: 1514-920X
ISSN en línea: 1853-2942

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

# 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 ESTA 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 |
• Olimpíadas 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 | dov@de.fcen.uba.ar | www.exactas.uba.ar/media

UBA EXACTAS

# El legado de Belgrano necesita más ingenieros

Recientemente el Estado nacional ha lanzado el "Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-2016", que tiene como objetivo lograr llegar en el mediano plazo a una tasa anual de un nuevo ingeniero cada 4.000 habitantes. En los últimos años se han lanzado iniciativas similares para impulsar la graduación de profesionales en carreras relacionadas con las tecnologías de la información (TICS) y las comunicaciones así como las ciencias de la atmósfera.

De esta forma se implementan tres niveles distintos de apoyo a los estudiantes universitarios. El Programa Nacional de Becas Universitarias (PNBU) otorga becas a estudiantes provenientes de familias de bajos recursos, y tiene como objetivo hacer más democrático el acceso a los estudios de nivel superior. Desde el año 2008 se suma el Programa de Becas Bicentenario, que asigna beneficios en mayor cantidad y monto, a estudiantes de las carreras que el Estado ha considerado prioritarias: ingenierías, exactas y naturales, veterinaria, bioquímica.

La tercera línea de programas –como los planes de formación de ingenieros, de TICS o de atmósfera– atiende necesidades más puntuales, que intentan resolver vacancias específicas de profesionales demandados por el sector productivo público y privado.

La buena noticia de estos programas no es solamente que una mayor cantidad de alumnos estarán en mejores condiciones de estudiar, sino que las medidas que se toman estás enmarcadas en un modelo de desarrollo basado en la industria y el mercado interno. Este modelo es el que Belgrano planteó en los albores de la Argentina y que constituye su mayor legado, si bien el himno le asigna ese rol sólo a la bandera. Es un modelo que requiere más ingenieros, en contraposición con el de décadas anteriores, que ni siquiera requería técnicos.

A esta altura, el lector puede estarse preguntando qué tiene que ver esto con Exactas. Un país que necesita ingenieros también necesitará más químicos, computadores, geólogos, físicos, matemáticos, biólogos, meteorólogos, oceanógrafos. El desarrollo de la industria química argentina en la primera mitad del siglo XX hizo que en la década del 60 la carrera de química fuera la más numerosa de la Facultad. En estos últimos años, empresas del área metalúrgica y de materiales, con oficinas de investigación y desarrollo en el país, incorporan físicos, matemáticos y computadores. Lo mismo ocurre como consecuencia del relanzamiento del Plan Nuclear en la CONEA o con los proyectos de construcción de satélites y radares en INVAP. Y ahora se abrirá un nuevo camino con las demandas asociadas a la necesidad de YPF de aumentar la producción tradicional y desarrollar la tecnología de los yacimientos no convencionales.

En un proceso de desarrollo industrial, que la Argentina intentó caminar varias veces, y que requiere de varias décadas de políticas consecuentes, hoy se necesitan ingenieros, y pronto se necesitarán muchos más profesionales de las ciencias exactas y naturales. Es la diferencia entre una ciencia que sólo represente un bien cultural y una que, principalmente, resulte una herramienta estratégica para el desarrollo y bienestar del país.

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

# Sumario


**REDES COMPLEJAS** 6
Reconstrucción de datos de desaparecidos

**ECOLOGÍA** 10
Flores y polinizadores

**LOS KILLIS** 14
Peces que caen del cielo

**ENTREVISTA** 18
Gerry Garbulsky

**FRONTERAS** 22
¿Qué es el bosón de Higgs?

**CONSERVACIÓN** 26
El macá tobiano en peligro

**MATEMÁTICA** 28
Proyecto Imaginary

**EDUCACIÓN** 30
El problema de plantear problemas

**BITÁCORA** 34
Un científico bipolar

**PALEONTOLOGÍA** 38
Estudio de huellas fósiles

**PROYECTO DE PATRIMONIO MUNDIAL** 41
El camino del Malacara

**SITIOTECA** 45

**VARIEDADES - HUMOR** 46

**PREGUNTAS** 47

**BIBLIOTECA** 48

**EPISTEMOLOGÍA** 49
Anacronismo versus diacronismo

**ARTES** 50
Del arte de vivir bajo tierra

**CONSEJO EDITORIAL**
**Presidente:** Jorge Aliaga. **Vocales:** Sara Aldabe Bilmes, Guillermo Boido, Guillermo Durán, Pablo Jacovkis, Marta Maier, Silvina Ponce Dawson, Juan Carlos Reboreda, Celeste Saulo, José Sellés-Martínez

**STAFF**
**Director:** Ricardo Cabrera. **Editor:** Armando Doria.
**Jefa de redacción:** Susana Gallardo. **Coordinador editorial:** Juan Pablo Vittori.
**Redactores:** Cecilia Draghi, Gabriel Stekolschik.
**Colaboradores permanentes:** Guillermo Mattei, Daniel Paz, José Sellés-Martínez.
**Colaboran en este número:** Elsa Meinardi, Daniel Alejandro Grimaldi
**Corrección:** Wanda Yael Zoberman. **Diseño:** Pablo Gabriel González, Federico de Giacomi. **Fotografía:** Juan Pablo Vittori, Diana Martínez Llaser
**Impresión:** Centro de Copiado "La Copia" S.R.L.



***EXACTAmente***
es una publicación cuatrimestral del Área de Medios de Comunicación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.
ISSN papel: 1514-920X - ISSN en línea: 1853-2942
Registro de propiedad intelectual: 28199

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


EXACTAmente


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

Encontrá los contenidos de todos los números de la revista y bajala en el formato que prefieras: pdf, epub o mobi

# FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

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

Alimentos
Ciencias Biológicas
Ciencias de la Atmósfera
Ciencias de la Computación
Ciencias Físicas
Ciencias Geológicas
Ciencias Matemáticas
Ciencias Químicas
Oceanografía
Paleontología

exactas.uba.ar | Ciudad Universitaria | Pabellón II Ciudad Autónoma de Buenos Aires

UBA EXACTAS

## Uso de redes complejas para reconstruir datos

# Tras los rastros de desaparecidos en Tucumán

**Con técnicas de la física estadística se puede rastrear información acerca del día después del secuestro de 1.036 personas en Tucumán desde 1974 a 1981. El trabajo se realizó codo a codo con el Equipo Argentino de Antropología Forense.**

*Cecilia Draghi - cdraghi@de.fcen.uba.ar*

Juan desapareció en Tucumán cuando iba a trabajar, el 3 de julio de 1976. A Leandro se lo llevaron de su casa, cuatro días después, a 10 kilómetros de donde se había visto a Juan por última vez. Mariano estaba afiliado al mismo partido político que Juan y Leandro pero, a diferencia de ellos, era delegado gremial de una fábrica ubicada a dos cuadras de donde vivía Julia, quien fue secuestrada diez meses después que Mariano y nunca nadie le conoció militancia alguna. ¿Ellos pudieron compartir el mismo lugar de cautiverio? ¿Alguno pudo ser trasladado de un centro clandestino de detención a otro? ¿Dónde están ahora sus restos?

Los nombres y las historias en Tucumán no son cuatro, sino que los Juan, Mariano, Leandro y Julia fueron más de mil, y esclarecer qué ocurrió con ellos resulta una tarea titánica. Desde hace algunos años, el Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF) recopila datos y busca armar las piezas de este rompecabezas con el fin de identificar a las víctimas de la represión clandestina ocurrida en el país. La matemática, seguramente, nunca podrá medir el dolor ante la pérdida de un ser querido, pero ¿podría aliviar la incertidumbre al encontrar conexiones que dieran pistas de su destino final? La pregunta surgió en 2006 en una de las clases del curso de Física Computacional en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (Exactas-UBA). ¿Se podría, a través de un modelo estadístico de redes complejas, reconstruir datos acerca de lo que ocurrió después del secuestro?

"Desarrollamos un método para analizar e interpretar estructuras emergentes en un conjunto de datos con información incompleta. Este ha sido concebido para ser aplicado en el problema de obtener información acerca de los desaparecidos en la provincia argentina de Tucumán, durante el período 1974-1981", indica el estudio realizado por Inés Caridi, Claudio Dorso –ambos doctores en física de la Exactas-UBA–, Pablo Gallo y Carlos Somigliana del EAAF, publicado en la revista *Physics A*.

Modelos teóricos, fórmulas matemáticas o ecuaciones que buscaban el mismo resultado: encontrar relaciones no evidentes hasta entonces, sugerir información faltante o formalizar nuevas preguntas a personas vinculadas con los desaparecidos, en futuras entrevistas. "Cuando un investigador se enfrenta con miles de casos y escasez de datos, sacarle la mayor cantidad de posibilidades a esos datos escasos se vuelve esencial", plantea Somigliana.

Desde el laboratorio de Física Estadística Computacional de la Ciudad Universitaria porteña, la idea original era sumar su aporte al largo trabajo que venía realizando el EAAF. "La gente de Exactas se acercó a nosotros con esta iniciativa de aplicar modelos provenientes de la física a las investigaciones que hacíamos. Nos gustó la idea, nos mostraron las posibilidades y empezamos a trabajar con lo que llamamos "la investigación preliminar", es decir, investigar en qué circunstancia desaparece una persona, en qué ámbito específico, en qué época, y cuál era su militancia política, si es que la

*El Equipo Argentino de Antropología Forense durante una exhumación en Chipre, en el año 2006. Foto: EAAF*

tenía. La idea es poder hacer hipótesis que ayuden a la investigación en general e identificar los cuerpos que vamos recuperando en diferentes lugares, en este caso, en la provincia de Tucumán", puntualiza Luis Fondebrider, miembro fundador del EAAF.

Se trataba de aplicar una herramienta no convencional en un terreno inusual. "La física no es una práctica habitual en el campo forense. En la Argentina se empezó a utilizar hace muy poco", precisa Fondebrider, y enseguida ejemplifica: "Cuando fue necesario investigar el asesinato de la maestra Teresa Rodríguez, en la Patagonia, a un juez le pareció interesante lo que se podía hacer con la física. Entonces, un equipo del Instituto Balseiro, de Bariloche, estuvo investigando de dónde venía el sonido del disparo que había matado a la docente. Poco a poco, los físicos fueron contactados para otros casos. Pero es muy incipiente, a pesar de que en el campo de la criminalística –que es el área de la ciencia forense que se ocupa del análisis de proyectiles, manchas de sangre y todo lo asociado con un cadáver–, la física y la química son las disciplinas madres de que se nutren estas especialidades". (Ver recuadro "Física forense")

Si bien el conocimiento de las leyes físicas puede aportar mucho a las leyes judiciales, en este caso en particular no se trataba de estudiar la velocidad ni la dirección de un proyectil, sino las relaciones humanas y los vínculos. Es decir, la antropología y la genética tenían en sus manos la identificación de las personas en Tucumán; en tanto la mirada de la física se centraba en el desarrollo de modelos de análisis de datos en busca de contribuir a la investigación general. "Es una utilización diferente y no conocemos que esta herramienta se haya usado en este sentido en otro lugar del mundo", enfatiza Fondebrider desde el EAAF, entidad que ha trabajado en 40 países para investigar casos de violencia política y étnica (Ver "Ciencia humana").

## ¿Dónde están?

Llegar a conocer dónde están las personas que fueron desaparecidas por el terrorismo de Estado lleva décadas de arduo trabajo. Recopilar desde documentos oficiales de esos años, registros de ingresos de un cuerpo a un cementerio o a una morgue, expedientes judiciales y policiales, hasta los informes de inteligencia más secretos fueron algunas de las tareas realizadas minuciosamente por el EAAF. "Hemos podido entrevistar a familiares, a gente que tuvo militancia y conoció a las personas desaparecidas. A partir de ahí, trabajamos con una hipótesis acerca de quién puede estar enterrado en cada lugar", señala Fondebrider.

Estas fuentes escritas y orales conformaron el material a partir del cual se podía empezar a conjeturar. "La gente del EAAF hizo un trabajo de hormiga increíble, que fue volcado a una base de datos. Pero había muchos faltantes y nosotros intentamos completarlos, precisamente, con los modelos de redes complejas", señala el profesor Dorso, uno de los directores del Grupo de Estudios Básicos e Interdisciplinarios del Departamento de Física de Exactas-UBA. De gran parte de los casos se conocía la fecha y lugar de secuestro, pero se desconocía en casi la mitad de ellos cuál era su lugar de trabajo o la filiación política. "El paso del tiempo es un problema porque se van olvidando cosas. Y, durante muchos años, hablar de eso era malo", puntualiza Dorso.

Con los datos disponibles de fecha y lugar de desaparición, profesión, trabajo, militancia y domicilio, los investigadores iniciaron una serie de combinaciones posibles que llevarán a nuevas pistas. "En este trabajo, intentamos rastrear la red subyacente de relaciones entre los

Si la larga investigación permite dar con el lugar donde se halla la persona desaparecida, queda otro paso por hacer. "Una vez que el sitio del enterramiento y/o matanza se ha ubicado y se cuenta con los permisos de trabajo correspondientes, se utilizan las técnicas de la arqueología y la criminalística para analizar el terreno, excavar y recuperar cuidadosamente la evidencia relevante, incluyendo restos óseos, proyectiles, vestimenta, efectos personales, etc. El equipo forense pone especial cuidado en documentar cada etapa de este proceso, por medio de informes escritos, video y fotografía y mapeo de la evidencia, de modo tal de mantener un registro preciso de los hallazgos", informa el Equipo Argentino de Antropología Forense en su portal *www.eaaf.org*.

La misión del EAAF también comprende la tarea de identificar el cuerpo. "A través de una muestra del esqueleto –ya sea de hueso o de diente–, se recupera el perfil genético de esa persona. Esto se compara con las muestras de sangre de los posibles familiares, lo que permite –si hay suficiente compatibilidad–, a través de un cálculo estadístico, establecer una probabilidad. En el caso de una identificación debe ser del 99,99 por ciento", especifica Luis Fondebrider.

Esta documentación es entregada a la justicia, y si el juez la considera válida como prueba, autoriza al EAAF a notificar al familiar. "Usualmente lo citamos en nuestras oficinas, donde le explicamos los resultados alcanzados. Puede ver los restos y hacer todas las preguntas que considere necesarias. Luego hay una serie de trámites administrativos que de alguna manera reinserta a esa persona a la sociedad con una partida de defunción, con un nombre", agrega.

Desde el EAAF, resulta clave el trato humano hacia el familiar y se busca que la ciencia esté al servicio de la gente, en un momento tan difícil. "Desde hace 50 mil años, el tránsito de la vida a la muerte es un rito de iniciación como el nacimiento, la pubertad, el casamiento y la muerte. En estos casos, no es una muerte natural, es violenta. Desde nuestra perspectiva, es importante que el rol que cumpla la ciencia sea claro, transparente y no produzca más dolor en los familiares", remarca.

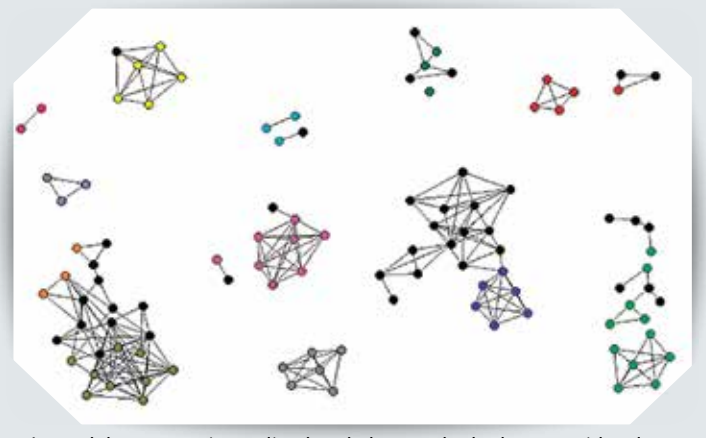
*Un miembro del Equipo Argentino de Antropología Forense durante una identificación de restos. Foto: EAAF*

desaparecidos hasta el momento de su secuestro, porque esta es relevante para encaminar las búsquedas acerca de lo que ocurrió después de la desaparición", precisa Caridi. Por su parte, Somigliana sostiene: "Los casos de los que hablamos no están en modo alguno aislados, sino que tienden a relacionarse de maneras diversas. Los modelos de redes complejas permiten realizar esa tarea de manera sistemática y muchas veces "ver" relaciones que, a simple vista, pasarían desapercibidas".

El equipo de físicos comenzó a armar una red de relaciones complejas. Un ejemplo de ellas, es la World Wide Web, "una de las redes más grandes construidas por el hombre. En esta red virtual los nodos representan a las páginas Web, y hay una conexión entre dos páginas cuando desde una de ellas se puede ir a otra mediante un clic del *mouse*", comparan. En el caso de Tucumán, "los nodos eran las personas desaparecidas y podía haber conexiones entre nodos a partir de los atributos que se conocían de sus vidas, y usando reglas para vincularlos", precisa Caridi.

Como parte del programa "Exactas con la Sociedad", Caridi viajó a Tucumán y recorrió lugares donde funcionaron algunas bases militares y centros clandestinos de detención. Asimismo, fue testigo de algunas de las entrevistas a familiares y amigos de desaparecidos realizadas por el EAAF. "Esto me permitió entender las herramientas que eran útiles para el trabajo de los antropólogos", evalúa.

Cabe aclarar que, antes de la puesta en marcha de estos modelos matemáticos, hubo un año de preparación previa.



*Ejemplo de modelo matemático aplicado a la búsqueda de desaparecidos: los puntos son los nodos de la red (que representan a las personas), las líneas que unen a algunos nodos son las conexiones que se establecen a partir de los atributos de un par de nodos, en base a reglas para vincularlos. Los nodos de un mismo color representan a un "grupo de referencia" (grupo vinculado en base a información conocida de la región). Los nodos negros son casos que no pertenecen a ningún "grupo de referencia".*

"La primera parte del trabajo –coinciden– consistió, inevitablemente, en extensas reuniones de acercamiento que apareja cualquier intento interdisciplinario". En este sentido, Caridi, agrega: "Llevó mucho trabajo y tiempo entender el trabajo del otro y construir un lenguaje común".

## Combinar parámetros

Estas redes complejas han tenido diversos empleos en el mundo. Uno de ellos fue tras la investigación del atentado de la Torres Gemelas en Estados Unidos. No se aplicó para dar con los autores, sino que, una vez que ya contaban con los supuestos implicados, se usó para detectar si existían vínculos entre ellos, según observa Dorso.

En la Argentina, la investigación analizó 1036 casos de desapariciones en Tucumán, en lo que técnicamente es un algoritmo conocido por su sigla en inglés, CGC, "clusterización, crecimiento y coalescencia".

"Se llama clusterización porque se empieza a determinar el grupo de personas cuyos secuestros están muy relacionados, por ejemplo, si tienen la misma militancia y los secuestraron en un lugar y tiempo cercano. Esto es lo que se llama un núcleo duro. Por otro lado, hay casos en que desconocemos la militancia, pero sabemos que trabajaban en el mismo lugar y desaparecieron poco tiempo después que los anteriores", explica Dorso, mientras muestra gráficos que representan esta red de vinculaciones. De esta forma, estos grupos pueden "crecer" y en determinado momento se "pegan" o se unen entre sí. "Por eso, se habla de clusterización y crecimiento; es coalescencia cuando los juntamos", remarca Dorso. En tanto, Caridi añade: "La idea es que, posiblemente, los grupos detectados en esta etapa hayan tenido el mismo destino de cautiverio, y esta información puede ayudar a los antropólogos a acotar la búsqueda".

El intercambio disciplinario fue permanente. Tras combinar una y otra vez parámetros cargados en la computadora, los resultados arrojados eran motivo de consulta. Y llevaba a los físicos a plantearse: "¿Estos grupos que quedan tienen sentido? Entonces, nos reuníamos con la gente del EAAF para ver el tema, dado que ellos saben muchísimo de la historia de cada caso", relata Caridi. Además, el EAAF ya contaba con casos resueltos en Tucumán, lo cual sirvió para testear el modelo.

¿Cuáles fueron las reglas que condujeron a obtener información? "Las mejores reglas para definir las conexiones de la red son las que tienen en cuenta la proximidad del lugar donde ocurrió el secuestro, conectando eventos de secuestros que sucedieron en períodos de tiempo que van desde los 5 a 7 días", subrayan los investigadores. Luego, siguiendo estas reglas, reconstruyeron una red de circuitos de centros de detención clandestinos donde pudieron haber estado las personas desaparecidas. "Encontramos que esta red tiene sentido porque los testimonios de los sobrevivientes confirman algunas de las conexiones", indican.

En otras palabras, luego de un detallado trabajo, se había logrado desarrollar una herramienta que arribaba a resultados confiables porque coincidían con los casos ya probados en Tucumán. Ahora lo que se busca es obtener un programa que permita a los propios antropólogos introducir datos y combinarlos para observar conexiones posibles, y aplicarlo a otras regiones del país.

Estos modelos de redes complejas "sólo los usamos en Tucumán. Pero de a poco estamos pensando en hacerlo para otras áreas del país", anticipa el antropólogo Fondebrider. Por su parte, la física Caridi concluye: "La gente del EAAF conocía muy bien las relaciones importantes o relevantes, pero lo hacía de a uno. Nuestra tarea consistió en formalizarlo matemáticamente con el objetivo de buscar las mejores reglas para definir esas relaciones, explorando de modo sistemático los resultados que se obtienen para cada una y, por otro lado, para implementar un programa computacional que permitiera obtener los resultados de manera rápida para todo el conjunto de datos. Ahora, a futuro, lo ideal sería construir una herramienta que sea un programa claro que ellos puedan usar en su trabajo de modo de combinar posibles reglas para definir conexiones y ver qué resultados arroja".

## FÍSICA FORENSE

Contrario a la imagen mágica de la ciencia forense en las series televisivas, Luis Fondebrider, del Equipo Argentino de Antropología Forense asegura: "No es que el análisis de un cabello permita en 24 horas encontrar al asesino; así no funciona la realidad en ninguna parte del mundo. Hay buen desarrollo, buenos profesionales, pero todavía hay un montón de cosas que no sabemos y no podemos resolver a través de la ciencia".

Sin embargo, hay mucho que ya la ciencia sí puede responder. "Para un físico, analizar un accidente de autos es como un juego. Es algo muy sencillo", sugiere. ¿Normalmente no se los convoca como peritos? "Depende de la iniciativa de un juez, fiscal o policía, responde. En la muerte del soldado Carrasco, a un policía se le ocurrió ir al Museo de Ciencias Naturales y preguntar por un entomólogo, y éste los ayudó a resolver parte del caso".

La pista dada por un insecto colaboró en esclarecer el crimen del conscripto Omar Carrasco, hecho que influyó en la decisión política de derogar el servicio militar obligatorio en el país. "El desarrollo de la fauna de insectos que tenía el cadáver de Carrasco permitió establecer el tiempo de muerte real", recuerda. Estos datos los aportó la entomología forense, que "no es una disciplina tradicional dentro del ámbito forense, lo mismo ocurre con la física, la química o la arquitectura. Es muy incipiente dentro del país, pero depende más de la buena voluntad o de cuán abierta sea la mente de un fiscal o un juez, que de una decisión institucional", observa.

## Flores y polinizadores

# Una asociación fructífera

Las plantas con flores no siempre se reproducen solas, sino que requieren la ayuda de agentes, principalmente animales. Pero no todos los que visitan las flores son polinizadores. Algunos son muy eficientes, mientras que otros sólo se roban el polen o el néctar que ellas ofrecen. Cuanto más diverso sea el conjunto de polinizadores disponibles, mayor es la producción de frutos y semillas de cultivos. Pero el avance del monocultivo está poniendo en riesgo esa diversidad y, en consecuencia, la producción.

*Susana Gallardo - sgallardo@de.fcen.uba.ar*

A lo largo de la historia, y en diferentes culturas, las flores ocuparon un sitio de honor gracias a su belleza, color y perfume. Incluso los colores de las rosas, alguna vez, conformaron un código para expresar sentimientos, como el amor, la amistad o el desprecio. Sin embargo, teniendo en cuenta que las flores son imprescindibles para perpetuar a la mayoría de las plantas, el color y el aroma constituyen algo más que una forma de comunicación entre los amantes.

En realidad, el colorido y el perfume de las flores tiene destinatarios precisos: ciertos insectos, como las abejas, las mariposas y las moscas y, también, algunas aves y mamíferos. Así, el mundo de las plantas y el de los animales constituyen una sociedad que, sin duda, rinde frutos.

Charles Darwin ya había observado que, cuando las flores son polinizadas por el viento, como en los pastos, no presentan colores llamativos. En consecuencia, para el célebre naturalista inglés, si los insectos no hubiesen aparecido sobre la tierra, las plantas no se habrían cubierto de flores coloridas y hermosas. Sólo habrían producido flores muy poco llamativas, como las del roble, el nogal y el fresno, así como las de las gramíneas, la espinaca, la acelga y las ortigas, que se fecundan por la acción del viento.

Las flores llaman la atención con sus formas y colores, pero también ofrecen recompensa al visitante. En efecto, el premio es el néctar o el mismo polen. A cambio, son fecundadas y así están en condiciones de producir frutos y semillas.

Es una relación de beneficio mutuo. La planta obtiene la transferencia de polen que le permite la reproducción sexual. El animal, la recompensa alimenticia. El néctar, que en la mitología griega era la bebida de los dioses, provee hidratos de carbono, y el polen: proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. En general, las abejas se llevan el polen al nido para alimentar a las crías.

"En el 85 por ciento de las plantas con flores, la transferencia de polen es realizada por animales, básicamente por insectos, en especial las abejas, pero también las mariposas, polillas y moscas, además de vertebrados como los picaflores y otros pájaros", comenta el doctor Marcelo Aizen, docente en la Universidad del Comahue, e investigador del CONICET.

En cuanto a los cultivos principales, el 70 por ciento de las especies tiene alguna dependencia de polinizadores, sin embargo, en términos de volumen, esas especies no representan más del 30 por ciento, pues los cereales son polinizados por el viento.

### Einstein y las abejas

Se ha afirmado que, si desaparecieran las abejas, la humanidad se quedaría sin alimento. Es más, la profecía se atribuye a Albert Einstein. "Es un mito por partida doble. Primero, porque Einstein no hizo tal afirmación y, segundo, porque no es verdad", asegura Aizen. En ausencia de abejas habría entre un 5 y un 6 por ciento menos de producción total, pero esas especies que dependen de los insectos para dar semilla representan

*Abejorro libando el néctar y contactando el polen de* Passiflora caerulea.
*Foto: T. Figueroa Fleming*

menos del 35 por ciento de la tierra cultivada. "Si desaparecieran los polinizadores, se seguiría produciendo más del 90 por ciento de los cultivos", resalta el investigador.

"Se confía mucho en un solo polinizador, la abeja *Apis melifera*, que es originaria de Europa y Asia y se introdujo en América para la producción de miel", señala Aizen. En el caso de los árboles frutales, muchas veces se introducen colmenas para polinizarlos. En Estados Unidos, por ejemplo, las tres cuartas partes de las colmenas del país son transportadas todos los años a una región de California donde se cultivan los almendros.

Sin embargo, el investigador subraya: "En general, un conjunto diverso de polinizadores es mucho más efectivo que tener una abeja melífera". Ello se explica porque los nichos de cada especie se complementan. Así, distintos polinizadores se encuentran operativos a distintas horas del día, y cada cual realiza su tarea de manera diferente.

Pero ¿cómo se fomenta la diversidad de los polinizadores? "Primero, incrementando la heterogeneidad en el paisaje agrícola, lo que implica efectuar una buena rotación de cultivos", sentencia Aizen. A esta propuesta se agrega "el tener parcelas pequeñas de cultivos, intercaladas con otras y, sobre todo, mantener, en los límites de las áreas cultivadas, bordes con malezas e incrementar las plantas con flores".

## Agricultura y polinizadores

Lo cierto es que la expansión de la agricultura ha tenido un costo ambiental importante, porque los cultivos muy extensivos como la soja, que tienen una dependencia baja de polinizadores, ocupan grandes superficies.

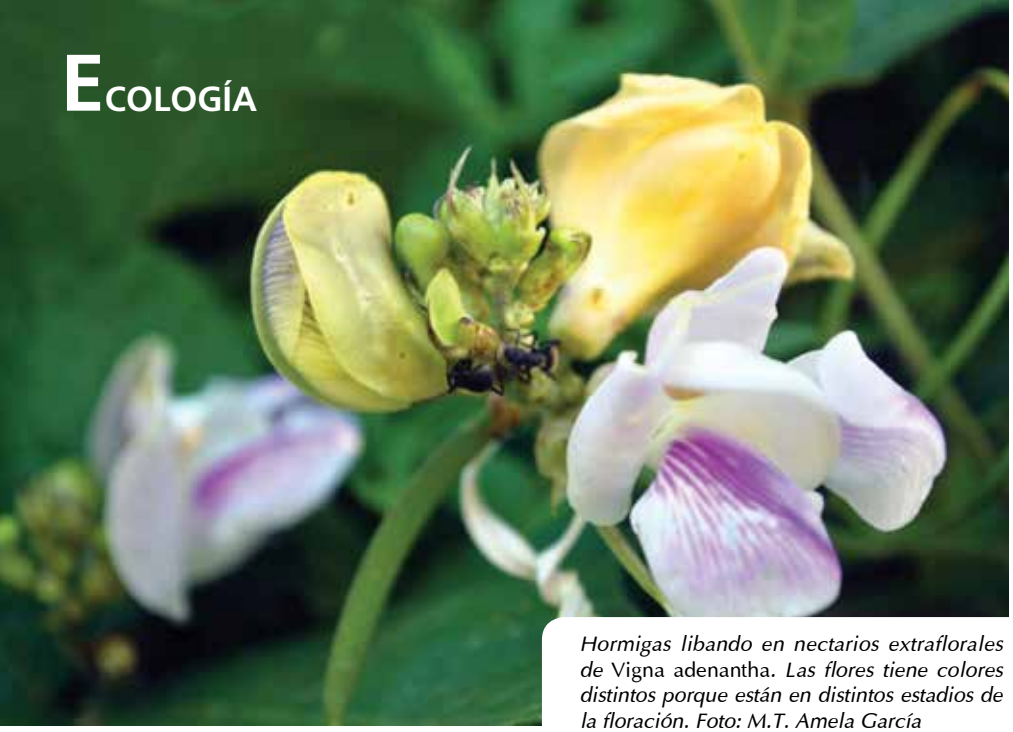
Aumentar la diversidad de cultivos redunda, para los polinizadores, en un incremento del alimento disponible más allá del tiempo de floración. En consecuencia, el aumento en la variedad de lo que se cultiva también incrementa la cantidad y variedad de polinizadores.

Según Aizen, hay un gran desconocimiento sobre el rol de los polinizadores en la agricultura, y ello puede representar

## FERTILIZACIÓN ASISTIDA

Muchas veces, las flores son visitadas por los polinizadores que, si bien realizan su tarea, no se forma el fruto. "Cuando no hay fruto, hay que hacer un estudio embriológico, para determinar por qué éstos no se forman", señala la doctora Sonia Rosenfeldt, del laboratorio de Biología Reproductiva y Sistemática Experimental en Plantas Vasculares, de Exactas-UBA.

Al estudiar una población de leguminosas que no producían fruto, las investigadoras hallaron que el problema residía en el grano de polen, que era anómalo y no producía gametas masculinas, y, por lo tanto, no se realizaba la fecundación. "Las plantas que tenían estas anomalías no generaban semillas, y esa población iba disminuyendo", relata Rosenfeldt.



*Hormigas libando en nectarios extraflorales de* Vigna adenantha*. Las flores tiene colores distintos porque están en distintos estadios de la floración. Foto: M.T. Amela García*

pérdidas de miles de millones de dólares. "Hemos encontrado sólo dos estudios sobre la relación entre soja y polinizadores", comenta. Un estudio en Brasil mostró que, en ausencia de polinizadores, la producción disminuyó en un 50 por ciento. "Claramente deberían hacerse más investigaciones para conocer qué está pasando", subraya.

En un estudio de los cítricos que se cultivan en Orán, al norte de Salta, el grupo de investigación que dirige Aizen observó que las abejas silvestres provenientes de la selva de las Yungas cumplían un rol importante en la polinización de las plantas de pomelo. Asimismo, vieron que la polinización cruzada entre distintas plantas de este cítrico producía mayor cantidad de frutos. "Sin embargo –señala Aizen– existe el mito de que los frutos del pomelo no dependen de los polinizadores".

## Las flores del campo

Por su parte, en el laboratorio de Biología Reproductiva y Sistemática Experimental en Plantas Vasculares, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, se estudian en detalle algunas especies florales nativas que se hallan en riesgo de extinción o que pueden aprovecharse como plantas ornamentales.

"Queremos apuntar a las especies nativas que tienen potencial económico, por ejemplo, para el desarrollo de la floricultura", afirma la doctora Patricia Hoc, directora del grupo. Para ello, se estudia la biología reproductiva de la especie, la morfología y embriología de las flores y los tipos de polinizadores.

Una de las especies estudiadas es *Passiflora caerulea*, conocida también como Pasionaria o Mburucuyá. Es una planta trepadora, nativa de Sudamérica, con flores muy llamativas, de color lila. En la Argentina hay 19 especies de *Passiflora*, que crecen en forma silvestre. Las flores de todas las especies tienen valor ornamental y, además, con el fruto del Mburucuyá se hacen dulces. Sus hojas tienen valor medicinal, pues, debido a los alcaloides que contiene, con ellas se prepara una infusión con propiedades contra el insomnio.

"*Passiflora caerulea* solía ser abundante en los baldíos de los alrededores de Buenos Aires, pero su presencia está disminuyendo", señala la doctora María Teresa Amela, quien investiga a esta flor nativa con el fin de determinar el mejor sistema para cultivarla, y rescatar el germoplasma. Esta planta se extrae de las poblaciones naturales para su procesamiento farmacéutico, pero no se repone con cultivos.

Un factor de importancia al determinar los polinizadores que visitan una planta es que trabajen en forma adecuada. Para ello, las investigadoras se instalan en el campo desde que despunta el día hasta que cae el sol. "Observamos la flor desde que se abre en la mañana hasta que se cierra al atardecer, y observamos si hay cambios en el color y en el olor, y si el néctar está disponible a toda hora, o sólo en algunos momentos del día", relata Amela, y prosigue: "En cuanto a los insectos, registramos cuáles son las especies que visitan la planta y cómo se comportan, porque pueden ser diversas, y cada especie puede tener su período de actividad".

### NECTARIOS FUERA DE LA FLOR

Las plantas y los insectos poseen diferentes estrategias de beneficio mutuo. Un ejemplo son las plantas de poroto, que pertenecen al género *Vigna*, o *Phaseolus*. Las ocho especies de *Vigna* que crecen en la Argentina se distribuyen en las selvas de las Yungas y en la Mesopotamia, hasta el Delta. Estas plantas poseen nectarios extraflorales, pequeñas glándulas fuera de las flores que producen néctar y atraen a insectos que, de esta manera, no van a la flor, y no interfieren con los verdaderos polinizadores. Es una maniobra de distracción.

"Los nectarios extraflorales producen un néctar diferente del que generan las flores, y es consumido principalmente por hormigas. Estas, mientras liban el dulce manjar, mantienen a raya a los herbívoros que van a comer o dañar las flores", según indica Fabiana Ojeda, becaria doctoral en Exactas-UBA, quien analiza las inflorescencias con la visita de las hormigas y sin las hormigas, con el fin de determinar si varía la producción de frutos.

## Ladrones de polen y néctar

En su tarea de recolección de alimento, las abejas y otros polinizadores funcionan como una máquina de fertilizar, pues llevan adheridos en su cuerpo los granos de polen que luego transfieren a otras flores. Pero el encuentro entre los polinizadores y las flores no siempre se produce de manera satisfactoria.

Para que un insecto pueda polinizar una flor, tiene que entrar en contacto con el polen (componente masculino que se encuentra en las anteras de la flor) y depositarlo en el estigma, que es la parte femenina, receptora del polen. El proceso puede realizarse dentro de la misma planta (si ésta posee ambos sexos), o entre plantas diferentes. Para que la transferencia se realice, el polen debe quedar adherido al cuerpo del insecto. "Si el insecto es muy pequeño, tal vez se lleva el polen pero no logra depositarlo en los estigmas; en ese caso decimos que es un 'ladrón de polen', no un polinizador", señala Hoc. Las investigadoras capturan los insectos y luego, en el laboratorio, toman sus medidas para determinar si tienen el

*Hormiga libando en el nectario extrafloral alrededor del fruto en formación de Macroptilium sp. Foto: M.T. Amela García*

## FLORES Y FRUTOS MENTIROSOS

La flor es un producto de la evolución determinada para atraer, pero esa atracción puede ir acompañada de engaño. Es el caso de ciertas flores que atraen a los insectos pero no le ofrecen recompensa. "Hay ciertas orquídeas, en zonas templadas, que florecen muy temprano en la primavera, y no producen néctar", comenta Marcelo Aizen, de la Universidad del Comahue. Esas flores son visitadas por abejas inexpertas, que surgen en los primeros días de la primavera. La planta se aprovecha de esa inexperiencia. Por instinto, la abeja es atraída por la forma y el color, que asocia con alimento. Luego aprende, pero la flor ya recibió el beneficio de la transferencia de polen.

Los colores de los frutos también constituyen una estrategia para asegurar la descendencia de las plantas. En efecto, el color y aroma del fruto atrae a los animales que lo comen y que luego dispersan las semillas.

El color puede servir para atraer así como para disuadir. "Hay frutos que son verdes para atraer a los mamíferos, pero no porque éstos no vean otro color, sino para no ser vistos por las aves, porque a esa planta le conviene que su semilla sea dispersada por los mamíferos", indica Aizen.

tamaño adecuado para ser buenos polinizadores de la planta en estudio.

Una especie de abeja de tamaño muy pequeño, del género *Trigona*, no puede acceder al néctar en una leguminosa, y se introduce en la quilla de la flor (conjunto que contiene las anteras y el estigma) y allí toma el polen y lo lleva a su nido. "En este caso, la denominamos 'hurtadora de polen', el ladrón es aquél que produce un daño en la flor", dice Hoc, y ejemplifica con *Xylocopa*, o abeja carpintera, que aborda la flor de *Ipomoea cairica* (campanilla) lateralmente, la perfora, introduce su trompa y absorbe el néctar sin contactar las anteras ni el estigma.

### Lugar donde anidar

A veces, una planta se queda sin polinizadores porque éstos perdieron sitios para anidar. En una zona del sur de Brasil, los cultivos de Maracuyá, otra especie de *Passiflora*, tenían baja producción de frutos. El problema residía en la baja frecuencia del polinizador principal, un abejorro que anida en maderas viejas o cañas, y en la zona no había postes ni madera blanda disponible. "La solución era intervenir en el entorno y colocar postes o cañas, donde esos insectos pudieran anidar", señala Amela.

"Es importante conocer cuál es el polinizador de cada planta, algo que no está muy difundido. Se tiene la idea de que las plantas se reproducen solas", subraya Hoc.

También es relevante conocer el período de actividad de cada polinizador así como el momento de apertura de la flor y los cambios que se producen en ella. "En *Passiflora*, cuando la flor se abre, los estigmas no están ubicados en el camino de los polinizadores, sino que están más arriba. Entonces, para poder ser polinizada, la flor debe ser visitada en la tarde, cuando los estigmas están en la posición justa para poder recibir el polen", explica Amela.

Si las plantas están muy lejos unas de otras, a los insectos se les puede hacer difícil la transferencia de polen. Es lo que sucedió con una plantación de algarrobos, en la provincia de Salta. "Investigamos la biología floral del algarrobo blanco, y vimos que no fructificaba. Se trataba de una población de plantas que estaban ubicadas a más de 100 metros unas de otras", recuerda Hoc. Las abejas carpinteras tenían que recorrer una distancia muy grande para llegar de una planta a la otra.

La composición del néctar también es clave para determinar la preferencia de los polinizadores. Para conocerla, se extraen muestras y se analiza la concentración de azúcares. También se realizan análisis más complejos en el laboratorio para averiguar la composición y la proporción de aminoácidos y azúcares. Algunos polinizadores buscan los néctares más diluidos.

*Passiflora caerulea*, cuyas hojas tienen uso medicinal, no se cultiva en la Argentina, sino que se recogen las plantas silvestres. "El estudio de la biología floral de esta planta tiene el propósito de lograr que sea cultivada. Creemos que la recolección para usos diversos sin reposición mediante un cultivo adecuado es el peor enemigo de las plantas nativas, pues, si no hay reposición, las especies corren grandes riesgos de desaparecer", subraya la doctora Hoc.

A lo largo de miles de años, plantas e insectos han evolucionado en forma paralela brindándose un beneficio mutuo. El avance del monocultivo y la pérdida de la biodiversidad de las plantas redundan en una disminución de la cantidad y diversidad de polinizadores. Desconocer esa realidad puede representar importantes pérdidas en la producción.

Los *killis*

# Peces que caen del cielo

*Gabriel Stekolschik - gstekol@de.fcen.uba.ar*

Se los encuentra en medio del campo o al costado de una ruta nadando en los charcos que se forman luego de una lluvia. "Aparecen" en lugares en los que, pocas semanas antes, todo estaba seco. Por esta razón, los aborígenes los llamaban "peces llovidos del cielo". Se los conoce como *killis* y son codiciados por acuaristas de todo el mundo.

Hay quienes argumentan que el nombre proviene del inglés *killing fish*. Según esta hipótesis, hace algunos siglos, la palabra *killing* era utilizada por los antiguos pescadores de la zona de Nueva York, en Estados Unidos, para hacer referencia a una carnada muy efectiva. Y está comprobado que estos pececitos resultaron ser un cebo muy exitoso para aquellos pescadores que, en consecuencia, los habrían bautizado de esa manera.

Otros arguyen que el nombre deriva de *kill*, antiguo término holandés que significa "pequeño cuerpo de agua", que habría sido utilizado por los primeros colonos holandeses de la costa neoyorkina para señalar el lugar donde habitaban estos pececitos.

En cualquier caso, *killifishes*, o simplemente *killis*, es el nombre vulgar que se le da a un grupo muy amplio de peces de agua dulce muy pequeños –suelen medir entre 2 y 8 centímetros– que, por el extraordinario colorido de los machos, despierta pasiones entre los acuaristas de todo el mundo.

Algunos de estos aficionados mantienen decenas de peceras que contienen especies de diferentes lugares del planeta. Entre estos entusiastas se encuentra el actual emperador de Japón, Akihito, quien en ocasión de su visita a Buenos Aires, en 1997, se encontró con que en la suite que lo acogió en el Alvear Palace Hotel lo esperaba, como sorpresa, una pecera poblada por *killis*.

En nuestro país viven 17 especies autóctonas, distribuidas dentro de un triángulo imaginario cuyos vértices son las provincias de Buenos Aires, Misiones y Salta. Una de ellas, *Austrolebias elongatus*, que puede alcanzar un tamaño de hasta 20 centímetros, es el *killi* más grande conocido hasta el momento.

## Vidas a la carta

El mito aborigen de los "peces llovidos del cielo" perduró durante cientos de años. Finalmente, la ciencia encontró una explicación al misterio: "Se pudo observar que, durante el desove, estos peces se introducen profundamente en el barro del fondo del charco para enterrar los huevos a varios centímetros de profundidad. Una particularidad de estos peces es que sus huevos están recubiertos por una cáscara que los hace resistentes a la sequía. De esta manera, si el charco se seca, los huevos pueden permanecer bajo tierra durante más de un año aguardando que las lluvias inunden nuevamente el charco y se den las condiciones para poder madurar", explica el doctor Matías Pandolfi, investigador del CONICET en el Laboratorio de Neuroendocrinología y Comportamiento de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Para lograr sobrevivir ante condiciones ambientales adversas, como la falta de humedad, los embriones detienen su crecimiento y quedan en un estado fisiológico de inactividad denominado "diapausa", en el que pueden permanecer muchísimo tiempo. "El fenómeno de la diapausa se conoce en algunos animales invertebrados pero en vertebrados es algo muy extraño", señala Pandolfi.

Esta característica permite que los killis se adapten a ambientes muy inestables en cuanto a humedad y temperatura y, por lo tanto, que se los pueda encontrar

Foto: Hristo Hristov

en lugares muy diversos del planeta. "Hemos colectado killis bajo una capa de hielo", ilustra el biólogo Felipe Alonso, becario del CONICET en el Museo Argentino de Ciencias Naturales y miembro de la Comisión Directiva del Killi Club Argentino, una entidad que reúne a muchos killiófilos (así se llaman entre sí los aficionados) del país.

Por otra parte, el hecho de que todavía no se hayan encontrado *killis* en la Antártida y Oceanía ubica a una de nuestras especies autóctonas, *Austrolebias robustus*, como la más austral del mundo (ver recuadro: A unas diez millas...).

Si bien es algo complicado alimentarlos –comen alimento vivo o, en su defecto, hay que darles carne cruda bien picada– no llama la atención que su coloración asombrosa y la relativa facilidad para reproducirlos en cautiverio atraigan a los acuaristas. Lo que sí puede resultar curioso es que la gran resistencia de los huevos a las condiciones ambientales ha dado lugar a que, entre los aficionados a los *killis*, se desarrolle una práctica muy singular: "Muchos acuaristas intercambian huevos de *killis* por correo postal", revela Alonso.

## Bichos de laboratorio

Desde el punto de vista científico, los *killis* están catalogados dentro de los *Cyprinodontiformes*, un grupo amplio de peces que incluye ovíparos (paren huevos que luego son fecundados en el agua) y ovovivíparos (tienen fecundación interna y el huevo eclosiona dentro de la madre, que pare a los alevines recién nacidos). No obstante, los aficionados solo aceptan como *killis* a los ovíparos.

Además de los acuaristas, la ciencia también ha puesto el ojo en los *killis*. En este caso, no es por sus brillantes colores sino debido a que estos animalitos presentan algunas características biológicas muy particulares.

Por ejemplo, como habitan charcas estacionales que pueden secarse varias veces al año, deben desarrollarse extremadamente rápido: "Hay poblaciones de *Nothobranchius furzeri*, un *killi* africano, que apenas viven tres meses", comenta desde los Estados Unidos el doctor Bruce Turner, profesor emérito de la *Virginia Tech University* y fundador de la *American Killifish Association*. "Esto lo convierte en el vertebrado que vive menos tiempo de los que se pue-

## KILLIS PARA TODOS LOS GUSTOS

Los *killis* han sido divididos en tres grupos, de acuerdo a las características de su ciclo de vida.

Por un lado, están los *killis* llamados "anuales" que son los que completan su ciclo de vida más rápidamente debido a que crecen en charcos de aguas temporales. Estos peces alcanzan tempranamente su madurez sexual con el fin de reproducirse antes de que se seque el charco y sus huevos, cubiertos por una "cáscara" muy resistente, son enterrados en el barro del fondo del charco donde pueden sobrevivir mucho tiempo después que el charco se hubiere secado.

Existe otro tipo de *killis*, llamados "no anuales", que viven en cursos de agua permanentes, es decir, que no llegan a secarse completamente. Como los demás *killis*, están adaptados a los cambios bruscos de temperatura y pueden llegar a encontrarse en pequeñas corrientes de agua de muy pocos centímetros de altura.

Finalmente, hay un grupo de *killis*, llamados "semi-anuales", que reúne características de los dos anteriores. Estos peces pueden vivir tanto en charcos temporales como permanentes e, incluso, en pequeños riachuelos de curso variable.

## A UNAS DIEZ MILLAS DE SAN ANTONIO

"El único dato que tenía era de un *paper* de 1883, publicado por Albert Günther, un ictiólogo alemán, que menciona que el ejemplar había sido obtenido por un tal Ernest Gibson a unas 10 millas de San Antonio", relata Pablo Calviño. Él quería encontrar la *Austrolebias robustus*, de la que solo se conocía aquel único macho descripto por Günther en el siglo XIX.

"Existen varias localidades con el nombre San Antonio por lo que no sabía exactamente a qué lugar se refería", cuenta.

Corría el año 2002 cuando encontró la primera pista en el Registro Nacional de las Personas: "En 1883 había existido un Ernest Gibson, argentino descendiente de escoceses, que había vivido en la zona de General Lavalle, al sudeste de la provincia de Buenos Aires, donde su familia poseía 40.000 hectáreas próximas al Cabo San Antonio".

Después de establecer contacto con una bisnieta de Gibson, Calviño pudo saber que aquel hombre era un ornitólogo que estudiaba aves migratorias y de ambientes acuáticos. "Seguramente estudiaba las aves de los charcos donde obtuvo el ejemplar", hipotetiza.

Finalmente, el 12 de octubre de 2002 emprendió el viaje que lo llevaría hasta General Lavalle: "Ahí descubrí que la entrada a la estancia "Los Yngleses", propiedad actual de la familia, se encuentra precisamente a unos 16 kilómetros del Cabo San Antonio, es decir, las 10 millas que menciona Günther", comenta, y concluye: "Finalmente, después de explorar algunos bañados cercanos, encontré 12 ejemplares de *Austrolebias robustus* a tan solo 2 kilómetros de la entrada a la estancia".

*"Siempre hacemos viajes por los lugares más inhóspitos del país buscando, pasando la red y colando agua. En todos estos años describí dos nuevas especies de* killis*", relata Pablo Calviño, uno de los fundadores del Killi Club Argentino*

Ignacio García

den criar en cautiverio y, por lo tanto, es sumamente útil como modelo para estudiar el proceso de envejecimiento", completa.

Por su parte, la doctora Graciela García, investigadora de la Sección Genética Evolutiva de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, Uruguay, indica que "las *Austrolebias* tienen tasas de especiación muy rápidas, lo que las constituye en un modelo valioso para los estudios evolutivos". Según la investigadora, esta relativa velocidad para generar nuevas especies estaría dada por una alta inestabilidad cromosómica y por el hábitat fragmentado en el que se desarrollan.

Además, esta gran variabilidad estaría potenciada por una dinámica de dispersión y mezcla de individuos entre charcos contiguos: "Se dispersan durante las inundaciones e, incluso, algunas especies pueden saltar fuera del agua cuando su charco se está secando, y permanecer entre 25 y 60 horas fuera del medio líquido hasta encontrar un charco nuevo", cuenta Alonso.

Un pionero en el uso de *killis* para la experimentación fue Thomas Hunt Morgan, famoso por sus trabajos con la mosca *Drosophila melanogaster*, que dieron inicio a la genética moderna. Morgan fue galardonado con el Premio Nobel en 1933 por demostrar, entre otras cosas, que los genes se disponen de manera lineal a lo largo de los cromosomas.

A finales del siglo XIX, Morgan "popularizó" entre los biólogos el uso de los huevos del *Fundulus heteroclitus* como modelo experimental para estudios de embriología. Actualmente, este *killi* es usado como modelo en ecotoxicología debido a su tolerancia a grandes variaciones en la salinidad, la temperatura o la concentración de oxígeno y por su capacidad para sobrevivir en ambientes contaminados con petróleo. Además, esta especie fue utilizada en experimentos biológicos llevados a cabo en el espacio.

Entre los *killis* se encuentra una especie muy estudiada porque es el único vertebrado hermafrodita (con ambos sexos en el mismo individuo) capaz de autofecundarse: el *Kryptolebias marmoratus*. "Hay otros vertebrados hermafroditas pero que no son capaces de autofecundarse, sino que en un momento de su vida son de un sexo y en otro momento revierten hacia el otro sexo", aclara Felipe Alonso. "Un solo individuo de esta especie en una pecera puede fecundarse a si mismo y dar progenie", sostiene.

Los *killis* constituyen un modelo interesante para estudiar el ciclo de vida completo de un animal porque viven relativamente poco: "Un pez de un año ya es anciano", opina Alonso. De hecho, algunos de estos peces alcanzan su madurez sexual con muy pocas semanas de vida: "Esto no ocurre en casi ningún vertebrado y permite estudiar el inicio de la pubertad, el desarrollo sexual o el envejecimiento en muy poco tiempo", subraya Pandolfi.

### Pasión amateur

Pese a su potencial para la investigación científica, en la Argentina los *killis* solo son objeto de estudio por parte de los aficionados. "Históricamente, los ictiólogos argentinos muestrearon ríos, lagos o lagunas, y a estos charquitos no les dieron mucha importancia", se lamenta Alonso.

Son los *killiófilos* los que costean sus viajes exploratorios a los lugares donde saben por experiencia que si "pasan la red" probablemente pescarán algún *killi*. Son ellos quienes identifican y describen especímenes novedosos o señalan nuevas localizaciones de especies ya conocidas. "Siempre hacemos viajes por los lugares más inhóspitos del país buscando, pasando la red y colando agua. En todos estos años describí dos nuevas especies de *killis*", relata Pablo Calviño, uno de los fundadores del Killi Club Argentino y responsable de la descripción, en 2006, de la *Austrolebias toba*, el último *killi* descubierto en territorio argentino. "Cada vez es más difícil encontrar algo nuevo", añade.

Es que el avance de la frontera agropecuaria y las canalizaciones efectuadas para el riego de los cultivos están alterando el hábitat de estos animalitos y poniendo en riesgo su existencia. "Mu-

*Distintas especies de Killi: Arriba: A. australe y A. striatum. Abajo: A. toba y N. korthause. Fotos: Pablo Calviño*

## LA ÚLTIMA CINOLEBIA PORTEÑA (POR FELIPE ALONSO*)

Aunque pueda parecer inverosímil, al menos hasta los años '50, en la ciudad de Buenos Aires había *killis*. Y, algo aún más curioso, todavía hay un lugar donde, quizás, estén los últimos *killis* porteños: las *cinolebias.* Es en un pequeño bañado que queda dentro del Parque Indoamericano, en una parte de lo que fueron los famosos "Bañados de Flores".

En el Museo Argentino de Ciencias Naturales (MACN) existe una colección de peces preservados en alcohol, colectados por diversos naturalistas desde fines del siglo XIX. En esta colección hay *cinolebias* de diversas localidades de la ciudad de Buenos Aires y alrededores, que datan del año 1897 en adelante, de lugares como San Martín, Dock Sud, el barrio de Vélez Sarsfield y los Bañados de Flores, de donde se recolectaron los últimos ejemplares en 1948.

Estos bañados, que ocupaban buena parte del sur de la ciudad, constituían el mayor humedal que tuvo Buenos Aires y eran el área de inundación del Riachuelo. La actual Avenida Eva Perón era entonces una ancha huella que descendía por el Oeste, bordeando las tierras bajas de los Bañados de Flores.

El doctor Axel Bachmann, profesor de la UBA, recuerda haber pescado *cinolebias* en estos bañados hasta el año 1955, junto al doctor Alberto Nani, especialista en peces del MACN.

Desde entonces, estos ambientes se urbanizaron. Hoy ese lugar lo ocupan el autódromo, los barrios Lugano I y II, y los parques Roca, de la Ciudad e Indoamericano. En este último, todavía existen unos "restos de bañados" de unas 20 manzanas, conocidos como Lago Soldati, que se ubican en la margen izquierda del arroyo Cildáñez, entubado en los '80 y '90, y donde Bachmann recuerda haber pescado un gran número de *cinolebias*.

En la actualidad, este lugar está cerrado al público y es utilizado como depósito de residuos, principalmente ramas. Sin embargo, constituye el último relicto de lo que fue el humedal más grande que tuvo Buenos Aires y donde, tal vez, viva la última *cinolebia* porteña.

**Licenciado en Biología, becario doctoral del CONICET en el Museo Argentino de Ciencias Naturales e integrante de la Comisión Directiva del Killi Club Argentino.*

chas especies de *killis* autóctonos están restringidas a áreas muy pequeñas, por lo que resultan particularmente vulnerables a estos cambios y muchas de ellas podrían estar en peligro de extinción", afirma Felipe Alonso, y puntualiza: "El hecho de que estos peces colonicen charcos temporarios en los que otros peces no pueden completar su ciclo, sumado a que la mayoría de los *killis* suelen ser muy eficaces depredadores de larvas de mosquito y, habitualmente, los únicos en estos sistemas, los transforma en una pieza fundamental para el control de este insecto transmisor de enfermedades como el dengue o la fiebre amarilla".

Otra amenaza para la supervivencia de los *killis* proviene de su creciente comercialización, pues se han convertido en parte del negocio dedicado a la venta de peces ornamentales, que mueve millones de dólares en todo el mundo.

Tras reconocer que la cuestión comercial generó grandes discusiones entre los socios del Killi Club –"el pilar fundamental de quienes lo fundamos es el amateurismo y nuestro estatuto, si bien no la prohíbe, no considera ético dedicarse a la comercialización"–, Calviño explica que "mucha gente se asocia para saber adónde ir a 'charquear' para encontrar peces y, después, colectan y 'se abren' para poder dedicarse a vender. Y ahí se corre el riesgo de exterminar, porque los ambientes son muy pequeños", advierte, y concluye: "Reservarnos un lugarcito de nuestra vida para algo donde todavía viva el amateurismo, para mí, es algo muy importante".

## Gerry Garbulsky

# Las ideas y las palabras

*Armando Doria - mando@de.fcen.uba.ar*
*Fotos: Diana Martinez Llaser*

**La posibilidad de desarrollar ideas y comunicarlas en forma contundente es el principal motivo de inspiración de las charlas TED, que nacieron en los Estados Unidos en la década del 90. Gerry Garbulsky es un físico graduado en Exactas que, después de una exitosa y diversa carrera, encontró en TED su lugar en el mundo. Y es uno de los responsables de haber traído el modelo al Río de la Plata. En esta entrevista, pormenores de una vida llena de cambios pero con una obsesión permamente.**

La idea es contar una idea. En 15 minutos, no más. Algo fuerte, que pueda resultar significativo para los cientos que estén sentados en el auditorio y para los miles, millones, que lo vean en la web. Esa idea se llama TED y nació en el gran país del norte, el mismo en que el artista Andy Warhol pensó –allá por los años 70– que en el futuro todos tendríamos 15 minutos de fama. Por la charlas TED pasaron (y pasan, cada año, en cada vez más ciudades del mundo) personas reconocidas y personas anónimas que tenían algo interesante para contar, de acuerdo con el criterio de los organizadores.

En su versión rioplatense, las charlas TED tienen un organizador y referente entusiasta, Gerry Garbulsky. Físico, amante del ajedrez y de la reflexión, Garbulsky habla con serenidad en un bar de Palermo, a metros del Botánico, sin darle ninguna importancia a que el mozo acaba de desparramar su botella de gaseosa sobre la mesa, la silla y el piso. “Soy de acá, me crié en Salguero y Arenales y, cuando pude, volví”, dice, manifestándose como un pibe de barrio. Cuando relata su infancia y adolescencia, el tema de la curiosidad, las preguntas y la puesta en crisis de los saberes se vuelve una constante. “De chico, mis viejos me gastaban porque siempre estaba preguntando por qué. Después, en la primaria, me encantaba la matemática y todo lo que tenía que ver con ciencias y me iba pésimo en historia. Me costaba memorizar fechas, aprenderme cosas que, para relacionarlas entre sí, no encontrara ningún tipo de lógica”, explica. La ciencia parecía lo suyo desde un principio y hasta quizás sea el inventor de algo que podría entenderse como “la rata inversa”: el niño Gerry se colaba a contraturno en el Colegio Nacional de Buenos Aires (él era alumno del Pellegrini) para meterse al laboratorio de física a medir la velocidad de la luz. “Los otros chicos, seguramente, se estaban preparando para salir a bailar”, piensa en voz alta con cara de comprenderse a sí mismo.

Para profundizar el patrón *nerd* de su adolescencia, cuenta riéndose que participó de un torneo de ajedrez por correspondencia a los 17 años: “Cada partida duraba máximo tres años. Las cartas tardaban 15 días en ir, 15 días en volver y se jugaban 21 partidas a la vez. Terminé por la mitad de la tabla de mi zona pero, en parte, porque algunos se murieron antes de terminar la partida o no sé que les habrá pasado”. Al recorrer su vida en palabras, Garbulsky mecha el registro humorístico, y hasta confiesa que incursionó abiertamente en el género haciendo *stand-up*. A propósito, remarca que “no logró hacer reír ni a sus amigos” pero podríamos predecir que, si le vienen las ganas, lo intentará otra vez, a ver si le sale: su historia de vida (con cuarenta y pico de años) es nutrida en búsquedas, cambios de dirección y persistencia. “Me anoté en la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA pero al toque me arrepentí, taché ‘Biología’ y escribí ‘Física’. Y seguí hasta licenciarme”. Una vez recibido, trabajó en el Proyecto Tandar y después en la empresa Siderca. Después de su paso por la industria, se fue al famoso Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT de sus siglas en inglés) para hacer un doctorado en Ciencias de los Materiales, pero no perdió sus múltiples inquietudes.

En los años 90, Garbulsky ya había atravesado una fuerte formación científica y experiencias variadas en ámbitos distintos. Su espíritu inquieto se hace evidente en su biografía pero no se traslada a su modo pausado de hablar. Si quien escribe no hubiera sabido de antemano algunos de los datos de su hoja de vida, el testimonio de Garbulsky lo hubiera

sorprendido. A ver si se sorprende el lector: ¿Cómo continúa la historia de un físico exitoso en la investigación, con experiencia en la industria, que está teniendo una sólida carrera académica en el MIT, la Meca de buena parte de la comunidad científica?

**– Describime tu salida del ámbito científico.**

– Cada vez estaba más profundamente metido en un campo muy específico y muy especializado y yo soy un bicho más social que eso, a mí me gusta estar con la gente y poder conversar de lo que hago y a veces llegaba a mi casa y me costaba tener conversaciones sobre mi laburo con mi pareja. Le estaba dedicando al trabajo un montón de horas y gran parte de mi energía y eso me empezó a hacer un poco de ruido. Un día, por casualidad, me enteré de la posibilidad de trabajar en consultoría de negocios.

**– Un terreno nuevo para vos, nada que ver con la academia, la industria, la ciencia básica, el ajedrez...**

– No del todo. Ese tipo de actividad consiste, esencialmente, en trabajar junto con las grandes empresas del mundo tratando de entender cómo hacer para que les vaya mejor. Está bueno porque tiene un montón de los desafíos intelectuales del tipo que a mí me había atraído de la ciencia, quizás no la matemática compleja, la matemática sofisticada que usaba en la física, más bien la forma de pensar los problemas.

**– Se podría decir que volviste a la matemática, tu primer amor.**

– La matemática es una herramienta que me encanta, me fascina, pero nunca quise ser matemático y dedicarme a resolver ecuaciones, quería usar esa herramienta para lograr cosas concretas.

**– ¿Cómo recibe el mundo de los negocios a un físico joven que viene a dar consejos con el delantal recién colgado?**

– A ver... El mundo de los negocios, para estos casos, requiere sofisticación intelectual y, en concreto, para poder aconsejar a los gerentes generales de empresas multinacionales hace falta ser un poco desfachatado y entender qué es posible y qué no es posible. Como a mí lo que me interesaba era el vínculo con otras personas y relacionarme, esto estaba bueno porque no solo había un factor humano en la formulación del problema, que no está en la física, si no que, además, para resolverlo necesitás trabajar con gente.

## CON LA IDEA FIJA

Gerry Garbulsky espera mucho de TED en un futuro próximo; considera que puede tener un fuerte impacto en la educación. "Se enganchan muchos chicos de cuarto o quinto año del secundario, justo en esa época en que están abriéndose al mundo y definiendo su futuro y sus valores. También hay muchos profesores que trabajan con charlas TED en el aula", se entusiama. Y a Garbulsky TED le despertó... ¡Una idea! La cuenta él: "Estamos haciendo un experimento junto con Melina Furman, que también es egresada de Exactas de la UBA. Se llama *El mundo de las ideas*, es un emprendimiento sin fines de lucro inspirado en TED. Lo que va a marcar los grandes cambios no es tanto profundizar muchísimo en una sola cosa sino la búsqueda de interfaces, los lugares no explorados de las distintas disciplinas. Si TED hace todo eso, ¿por qué no nos inspiramos en eso para construir un formato educativo distinto? Y eso es lo que llamamos *El mundo de las ideas*". El proyecto es una especie de TED potenciado, dura cinco meses y consiste en una reunión semanal de la que participa gente de lo más diversa en algo así como un curso. Todos aportan su experiencia, cuentan proyectos y, además, reciben visitas de personalidades que aportan lo suyo. "En *El mundo de las ideas* conviven científicos, tecnólogos, artistas, emprendedores, futbolístas, de todo. Se desarrollan y potencian las ideas y se promueve la inspiración. En su primera edición, el círculo cerró con un evento que se llamó TEDxAvenida Corrientes, donde los oradores fueron los participantes del curso", destaca Garbulsky y cierra con una promesa: "El próximo, que arranca en marzo de 2013, vendrá recargado".

Ante la pregunta de en qué consistía su trabajo como consultor, Garbulsky elige dar un ejemplo de una intervención suya en la industria farmaceútica. La descripción es extensa y detallada pero será necesario reducirla a lo básico para cumplir con la extensión de esta nota. Resulta que una mega empresa, con operaciones en todo el mundo, quería tener una alternativa a su proceso de manufactura para abaratar costos. "Era una empresa que tenía dos mil millones de dólares de inventario en proceso, eso quiere decir que tenía un montón de guita puesta en cosas que se estaban fabricando y no estaban terminadas todavía", indica el físico. "Se preguntaban si no estaban teniendo de más o de menos en distintas partes del proceso y esa es la pregunta que nos hicieron".

Para resolverlo, el novato físico devenido consultor armó un modelo de cómo funcionaba la fabricación de los productos. La empresa estaba trabajando, en paralelo, buscando otra respuesta a la pregunta a partir de un sistema tecnológico que les permitía hacer un modelado muy sofisticado y fijar los niveles de inventario óptimo en cada etapa del proceso. Ese proceso iba a tardar varios años y costaba unos cuantos millones de dólares implementarlo. Para elaborar su propuesta, Garbulsky trabajó con algo tan elemental como una planilla de cálculo común y corriente. "Para mí era una pavada porque venía de trabajar con supercomputadoras con un alto nivel de sofisticación y, si bien, nadie entendía al principio qué estaba haciendo, ese me parecía el mejor camino", dice sin poder ocultar algo de su orgullo, comprensible cuando cuenta el final del asunto. Después de solo tres meses de trabajo, les mostró a los gerentes y sus especialistas cómo podían bajar de dos mil millones de dólares a mil doscientos y ahorrar así 800 millones. Y hay anécdota para el final. A diez años de haber dejado ese proyecto, ya viviendo en Argentina de nuevo, un día sonó su teléfono. "Soy fulano, me dijo un tipo, estoy trabajando en la empresa, acabo de entrar y encontré una planilla con su nombre", cuenta. "Me contó que la planilla que yo había diseñado la seguían usando para fijar los inventarios en toda la red global de manufactura", dice con gesto sostenido de asombro. En seguida se interrumpe a sí mismo, quizás con cierto pudor. "No siempre me fue tan bien", aclara.

Sin prisa pero con estusiamo, Garbulsky vuelve al tema de las ideas. Entiende que su intervención en la empresa farmaceútica "es un ejemplo de cómo con pocos conocimientos de negocios uno aterriza viniendo de una trayectoria muy distinta pero con un modelado cuantitativo y con una lógica implacable de cómo funcionan las cosas y puede agregar valor a las cosas que otros no estaban viendo". Garbulsky habla acerca de su formación científica, por cierto.

**– Para tu caso, ¿cómo definirías el proceso por el cuál elaborás tus ideas?**

– Yo creo que el orden del camino de mi formación fue crítico. El haber empezado como científico me dio las herramientas para aprender otras cosas de una manera distinta. Siento que la rigurosidad, la capacidad analítica, la capacidad de modelar y poder tener una mente crítica, un pensamiento crítico, evitar el pensamiento mágico, todo eso es algo que es claramente algo central en mi formación, en quien soy, me define y me permitió hacer cosas en otras áreas que quizás gente que venía sin este tipo de formación no hubiese podido. Yo debo tener otros lados flacos pero ese es mi aporte especial.

**– ¿Con qué otros conocimientos y experiencias combinaste tu formación?**

– Podría decirte que la cosa se puso interesante cuando me metí en temas que tenían que ver más con el factor humano. De a poco me di cuenta de que la papa está en entender qué va a hacer que la gente se comporte de una manera o de otra. Logré construir una intuición para eso, sigo sin tener las ecuaciones de cómo se hace pero gané olfato. Aprendí que a mí, como persona, me enriquece conocer distintos mundos. El de la ciencia es un mundo pero no es el único, cuando entré a física para mí ese era todo el mundo y yo era científico a morir. Para mí la importancia era el contenido, cómo lo comunicás era algo irrelevante y no le daba valor. Ahora me estoy dando cuenta de lo valioso que es.

Entonces, estábamos en que Gerry Garbulsky se había posicionado en una consultora internacional y, puede suponerse que, como se dice al sur del Río Bravo, tenía la vaca atada. Bueno, esa historia ya terminó. En palabras de Gerry: "Dejé de trabajar en cuestiones de negocios hace cuatro años. Aprendía un montón en el mundo corporativo, lo que hacía tenía impacto, trabajaba con gente súper inteligente, intervenía en cuestiones que al día siguiente ocurrían, cosa que en la ciencia es más remoto. Lo que empezó a hacerme ruido fue que el objetivo principal era hacer guita, para decirlo en criollo. Es algo con lo que, a priori, no tengo problemas pero no quería dedicarle mi vida a eso. En aquel momento era mi crisis de los 40 y me decía: cuando llegue a los 50 o 60 y mire para atrás ¿voy a estar orgulloso de aquello a lo que dediqué

mi vida?, empecé a sospechar que quizás no".

Según recrea con más de un ejemplo, la vida de consultor top era muy exigente con sus tiempos y condicionaba su calidad de vida. Se la pasaba arriba de los aviones. Incluso considera que batió todo un récord al respecto; afirma ser la persona que, como pasajero, cruzó más veces la cordillera de los Andes en un año: fue en 2004 y lo hizo en 142 oportunidades. Casi como podría ocurrir en una película interpretada por Adam Sandler, un día su hijo le explicó algo a su maestra de sala de cinco: "Lo que pasa es que mi papá vive en Chile". Claro que no es tan abrupto el corte pero, resumiendo, decidió tomarse un año sabático.

**– Y acá llegamos plenamente a las TED.**

– En mi año sabático conocí muchas cosas y me fui enamorando de ellas, entre ellas, TED. Después volví del sabático, trabajé un poquito más y renuncié para dedicarme a full a la revista Oblogo, colaboré con el programa de Adrián Paenza y con sus libros de matemática, empecé a hacer radio. Descubrí otros mundos y me encontré con la importancia de poder contar las cosas bien.

**– ¿Qué es TED? Decímelo vos.**

– Es la movida de las ideas para tratar de cambiar el mundo desde otro lado.

**– Puede verse como el resumen de cosas que parecen siempre rondar tu discurso: las ideas y la posibilidad de comunicarlas.**

– Claro, me fascinó esa posibilidad de comunicar en poco tiempo una idea potente de forma tal que tenga algo de impacto en la gente que la escucha. Efectivamente, creo que TED es la conjunción perfeccionada del contenido con la manera en la que uno lo comunica. Con Adrián, entre otros, empezamos a pensar en cómo aprovechar esa plataforma para hacer algo que esté bueno en nuestro país.

**– Y te metiste de cabeza.**

– En los últimos cuatro años le dediqué más de la mitad de mi vida a TED, lo hago con pasión y trato de contagiarla. TED no es algo muy conocido todavía, yo estoy con un grupo grande de gente tratando de que sí lo sea, pero le falta un montón.

**– ¿Qué fibra interna te toca TED?**

– Veo que muchos de los oradores que invitamos, y que ayudamos a que preparen las charlas, son personas a las que no conoce nadie y que están haciendo un laburo espectacular y tienen historias increíbles para contar. Creo que en nuestro país no hay mucha gente pública a la cual admirar, de la cual inspirarnos. Muchos de nuestros ídolos son gente a la cual no debiéramos parecernos o no querríamos parecernos, entonces, de alguna manera, TED puede ayudar a que aquella gente destacable tenga voz.

**– Cuando uno se pone viejo, empieza a advertir que la experiencia parece ser instrasferible. ¿Vos considerás que sirven los modelos para cambiar la realidad de la gente?**

– Creo que nuestra sociedad sería mejor si tuviéramos gente en la cual inspirarnos, con la cual aprender, que nos ayuden a soñar con nuestro propio futuro.

**– A partir de ese concepto, ¿TED no estaría compitiendo, por ejemplo, con los programas de entretenimiento de la tele en lo relativo a la instalación de personas como referentes? ¿No está el riesgo de crear "personajes"?**

– No, yo no digo de reemplazar esas cosas, si eso a la gente le gusta está bueno que esté por más que a mí no me guste. Es interesante, si a la gente le preguntás si mira a Tinelli, muchos dicen que no pero no me dan las cuentas. No lo veo como competencia, lo veo como algo que tenemos que complementar, creo que de a poquito con el laburo que empezaron a hacer Adrián Paenza y Diego Golombek en la tele, y otros muchos más, eso está cambiando. Pensá que ahora tenemos, junto a Santiago Bilinkis, un espacio semanal en el programa "Basta de todo", que es el más escuchado de FM por la tarde.

Eso hace diez años era inconcebible. Veo un pequeño cambio positivo que apunta a que haya otros temas en danza en la mesa de todos los días. De mi lado, quiero complementar, quiero aportar algo que siento que hoy no está.

**– ¿Me podés dar un ejemplo de charla TED que cumpla con los propósitos que te inspiran a mover todo esto?**

– Hay una de las charlas que es de la pediatra Magdalena Goyheneix, que trabaja con la ONG Médicos Sin Fronteras y en su charla cuenta su experiencia en África y en Chad tratando de paliar el hambre en los chicos menores de cinco años. Cuenta historias increíbles, es una charla que dura menos de once minutos y durante ese tiempo te reís, llorás, te emocionás, te replanteas qué estás haciendo con tu vida y qué no. La vieron unos cientos de personas en vivo, pero su charla en internet fue vista unas 200.000 veces. Lo que le decimos es que, de alguna manera, ella ya llenó cinco veces la cancha de River, no alcanzó a Roger Waters todavía, que llenó nueve estadios, pero va en camino. Eso me hace sentir que estamos en la dirección correcta.

## ¿Qué es el Bosón de Higgs?

# La mediadora maldita

*Guillermo Mattei - gmattei@df.uba.ar*

El 4 de julio 2012, los líderes científicos de los experimentos ATLAS y CMS del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN anunciaron, con resonancia mediática mundial, el acorralamiento de la partícula más buscada por los físicos desde su predicción teórica hace casi medio siglo: el Bosón de Higgs. En esta nota, un esbozo de popularización de la que primero fue partícula maldita y luego, la de Dios.

"Como no me parecían suficientemente rigurosas las analogías y metáforas de la divulgación científica actual para explicar qué es el Bosón de Higgs, entonces yo mismo construí una basada en conceptos e ideas de la economía que, considero, se ajusta muy bien a la descripción de la física, pero mis colegas me dijeron que les resultó más difícil de entender que la propia teoría (risas)", declaró en Buenos Aires Juan Martín Maldacena, uno de los físicos contemporáneos más importantes del mundo y el más trascendente de la historia de la física argentina. "El del Bosón de Higgs es el tema más complicado de la Física para explicar de manera no técnica", dijo Daniel de Florian, profesor del Departamento de Física de Exactas-UBA y uno de los más renombrados investigadores mundiales del tema, en una charla de divulgación para todo público. Pese a estas advertencias, enumeramos en esta nota ciertas ideas y conceptos físicos contextuales que permiten iluminar fugazmente el rostro de esta endiabladamente esquiva partícula subatómica.

### El uno

Desde los primeros científicos, la unificación de teorías y experimentos que describen parcialmente el mundo ha sido un propósito perseguido con obsesión no sólo cognitiva sino estética. Copérnico y Kepler unificaron la Tierra con los demás planetas solares. Giordano Bruno unificó el Sol con las estrellas. Galileo y Newton unificaron el movimiento con el reposo. Darwin unificó las especies con un ancestro común. Maxwell y Faraday unificaron la electricidad y el magnetismo.

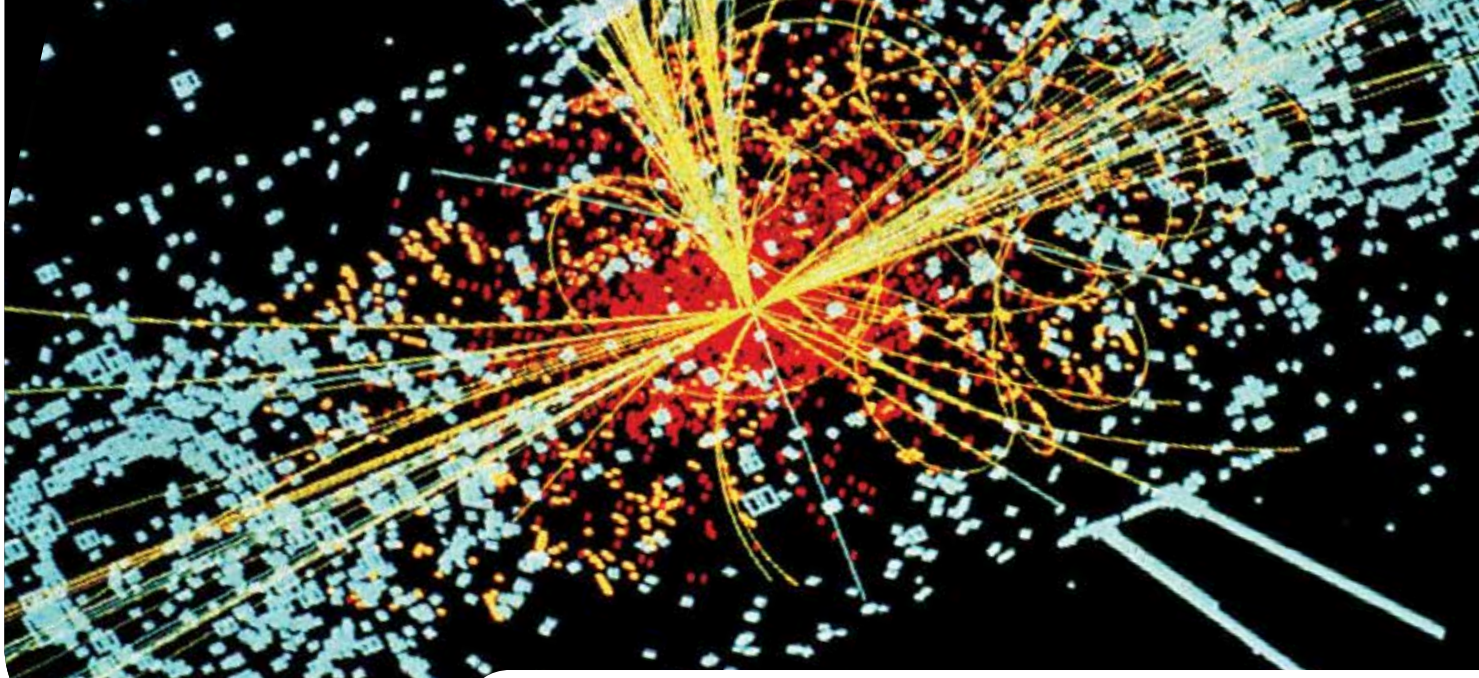
Con el electromagnetismo nació el concepto de *campo* como asignación de una cierta magnitud (un número, por ejemplo) a cada punto del espacio y a cada instante del tiempo. Esta idea notable permitió entender cómo las fuerzas se transmiten entre objetos separados a grandes distancias y, aún, en el vacío. La teoría de los campos eléctricos y magnéticos encontró un marco natural dentro del cual formar parte en la Teoría Especial de la Relatividad, donde el escolar espacio de la geometría euclidiana entrelaza al tiempo y donde la relatividad del observador y la invariancia de la velocidad de la luz son características dominantes.

El acontecimiento unificador posterior fue el matrimonio entre la Mecánica Cuántica y el Electromagnetismo o, por lo anterior, la unión civil con la Relatividad Especial, de la cual nació una hija: la Teoría Cuántica de Campos. En el escenario cuántico, entidades tan antitéticas como las partículas y los campos son manifestaciones de una misma realidad o, más técnicamente, son *complementarias*. Particularmente, en el esquema unificado de la llamada Electrodinámica Cuántica es donde se modelizó elegantemente la interacción entre los fotones electromagnéticos y partículas cargadas tales como los electrones y los protones.

La electrodinámica cuántica permitió entender fenómenos bien manipulados experimentalmente, relacionados con las llamadas fuerzas nucleares *fuerte* y *débil* que, junto al electromagnetismo y a la gravedad, cierran el cuarteto fundamental de la realidad toda. En este último proceso de creación de conocimiento surgieron dos nuevos principios: las Teorías de Gauge (TG) y la Ruptura Espontánea de Simetría (RES).

### De gauge y simetrías

*Gauge* es un verbo del idioma inglés que significa calibrar o medir y que la comunidad mundial de físicos decidió no traducir a las diferentes lenguas. La noción de gauge en Física sirve para denotar la característica en común que tienen el electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil, y para



*Una traza hipotética del bosón de Higgs en una colisión simulada de protón-protón. Foto CERN. Lucas Taylor 1997.*

entender cómo puede unificarse a estas tres fuerzas aún siendo bien diferentes.

Las TGs están relacionadas con una idea todavía más básica que las fuerzas: la *simetría*. En Física, una operación que preserva el comportamiento de un sistema bajo estudio en relación al mundo exterior, es simétrica. Ejemplo: la operación de rotar un ángulo arbitrario alrededor de un eje cualquiera al sistema de una esfera no produce variaciones evidentes en relación al entorno. También hay simetría cuando se cambian las condiciones de un experimento y el resultado no cambia. Si en el *experimento* de respetar y garantizar los derechos laborales se pueden intercambiar varones y mujeres y el resultado es el mismo, entonces la interacción de varones y mujeres con los derechos laborales es simétrica. "Las leyes de la física exhiben simetría, y las simetrías son el origen de las leyes de la física", explica De Florian.

Si quisiéramos estudiar la evolución de un electrón moviéndose libremente a medida que transcurre el tiempo, no podremos usar lo que nos enseñó Newton sobre las trayectorias de las partículas, donde "posición" y "velocidad" se conocen simultáneamente. Son las complejas leyes de la mecánica cuántica las que dictaminan que a este electrón lo caracterice una función matemática, que toma valores entre los números complejos, llamada *función de onda*. Daniel de Florian aclara: "no podremos representar la posición del electrón en función del tiempo como un punto en un diagrama cartesiano (x, t) sino como una flechita, dado que los números complejos tienen dos componentes, como los vectores del plano o, equivalentemente, una longitud y un ángulo de inclinación respecto del eje horizontal". En mecánica cuántica, la longitud de ese vector complejo indica la probabilidad de encontrar al electrón en esa posición y en ese instante. Luego, en un diagrama (x, t) podemos tener una distribución de muchos vectorcitos describiendo lo que hace el electrón que viaja libremente", explica De Florian, y luego se pregunta: "Las ecuaciones de la física que describen este comportamiento, ¿dependerán del ángulo o la dirección de esos vectorcitos?".

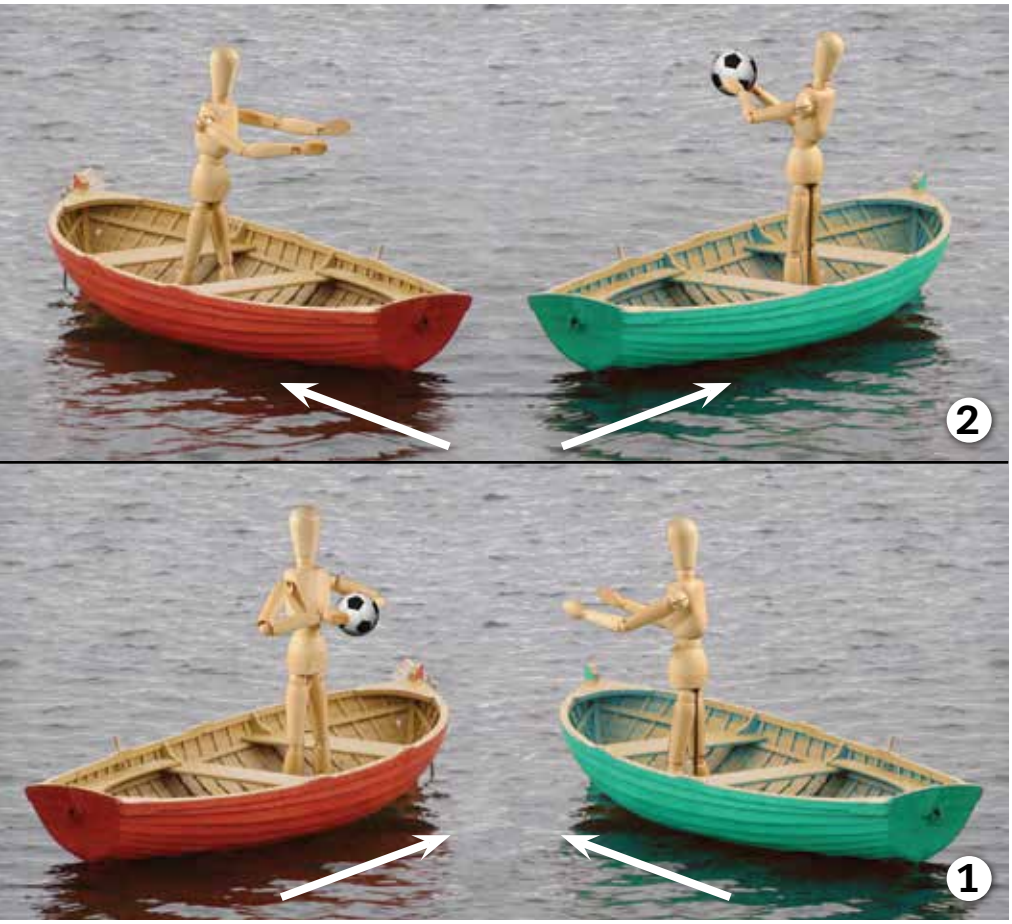
Lo que los físicos saben es que si a todos los vectores del diagrama se les cambia el ángulo en una misma cantidad de grados, es decir, si se los rota de idéntica manera, las ecuaciones no cambian. En otras palabras, hay una simetría intrínseca en esa transformación con una consecuencia física muy profunda: cualquiera sea la interacción, la *carga eléctrica* se mantiene siempre constante, no se crea ni se destruye o, en la jerga: "se conserva". Sin embargo, si en lugar de rotar todas las flechitas de la misma manera, cada una lo hace de manera diferente pero de modo que el resultado final sea que todas apunten en una única dirección, "¿las ecuaciones de la física son simétricas ante este cambio?", pregunta De Florian y responde: "No. No hay simetría en esta transformación. Es como tener una esfera con un pequeño agujerito en su superficie que hace que las rotaciones arbitrarias ya no nos parezcan indistinguibles tal como lo eran antes".

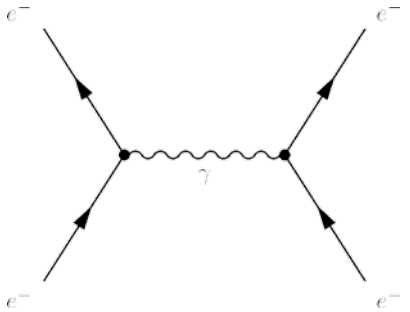
Ahí, los físicos se preguntaron: "¿podremos cambiar las ecuaciones para que esta transformación también sea simétrica? o, metafóricamente, ¿podremos "ponerle" el pedacito de esfera que falta para tapar el agujerito?". Los desarrollos teóricos al respecto dictaminaron que lo que faltaba para solucionar esta asimetría era agregar al esquema un fotón electromagnético.

"En resumen, pedir esa simetría a las leyes de la física equivale a pedirles que incluyan a todo el electromagnetismo", explica el experto. El electromagnetismo, largamente conocido, tenía así un origen ahora bien comprendido.

Las propiedades de simetría les proveen a los físicos poderosas herramientas para conocer parcialmente las interacciones o las fuerzas involucradas. Sin embargo, existen algunas situaciones especiales en las que las simetrías determinan por completo a las interacciones y, ese es uno de los descubrimientos más importantes de la Física del siglo XX. Particularmente, los físicos aprendieron que existen partículas mediadoras de la interacción, llamadas *bosones de gauge*, que transportan a las fuerzas involucradas.

El electromagnetismo, la fuerza nuclear fuerte y la débil encarnan las anteriores interacciones y sus mediadores son el fotón, el gluón y los bosones débiles. Daniel de Florian recurre a una metáfora para ilustrar este mecanismo: "Cuando dos electrones van a chocar, la fuerza de repulsión eléctrica entre ellos los desvía o, equivalentemente, intercambian un fotón. Es como si dos navegantes idénticos sobre botes sin remos, pero lanzados en trayectorias convergentes, quisieran evitar el choque. La maniobra implica que uno de los navegantes debe tomar una pelota, que casualmente está en su bote, y tirársela al otro navegante de modo que, por el newtoniano principio de acción y reacción, cada uno experimente una fuerza lateral que logrará cambiar las trayectorias a divergentes evitando así el choque (ver gráfico). La pelota es la mediadora de la fuerza entre los dos botes. Dado que el fotón no tiene masa, es una pelota que puedo tirar tan lejos como yo quiera; en otras palabras, el alcance de la fuerza electromagnética es infinito".




*Los dos botes como representación esquemática de la interacción por intercambio de partículas mediadoras*

De todas maneras, no todo esfuerzo unificador es claro, intuitivo y directo, ya que la fuerza electromagnética tiene alcance infinito y partícula mediadora de masa nula, mientras que las nucleares tienen alcances muy cortos y partículas mediadoras muy masivas. Daniel de Florian agrega: "En el caso de la fuerzas nuclear débil, sería como tirar una pelota muy pesada entre los dos botes, lo cual funciona para evitar la colisión sólo si están muy cerca". Sin embargo, los físicos no abandonaron por esto sus pretensiones de unificar estas fuerzas pese a ser claramente diferentes.

Tal vez, supusieron los teóricos, las leyes tengan una simetría que no es respetada por todas las características del mundo al que se aplica. Por ejemplo, el programa de materias de la licenciatura en Física de Exactas-UBA se aplican por igual a todos los alumnos ingresantes, lo que podemos entender como una simetría del programa. Aunque sustituyamos un alumno ingresante por cualquier otro, no cambiaremos el programa que todos deben respetar para graduarse: todos tendrán que aprobar parciales y respetar correlatividades. Pero esta simetría frente al programa no demanda o exige iguales circunstancias para todos. Algunos alumnos son más capaces que otros: algunos obtiene buenas notas y, de entre estos, algunos logran superar los promedios históricos. Si bien hay simetría inicial en las oportunidades de la cohorte, a medida que transcurren las cursadas, esta se pierde: algunos pocos ingresantes se convierten en Zaldarriagas o Maldacenas, otros, en destacados físicos internacionales, y la mayoría, en graduados bien formados.

## Espontánea ruptura

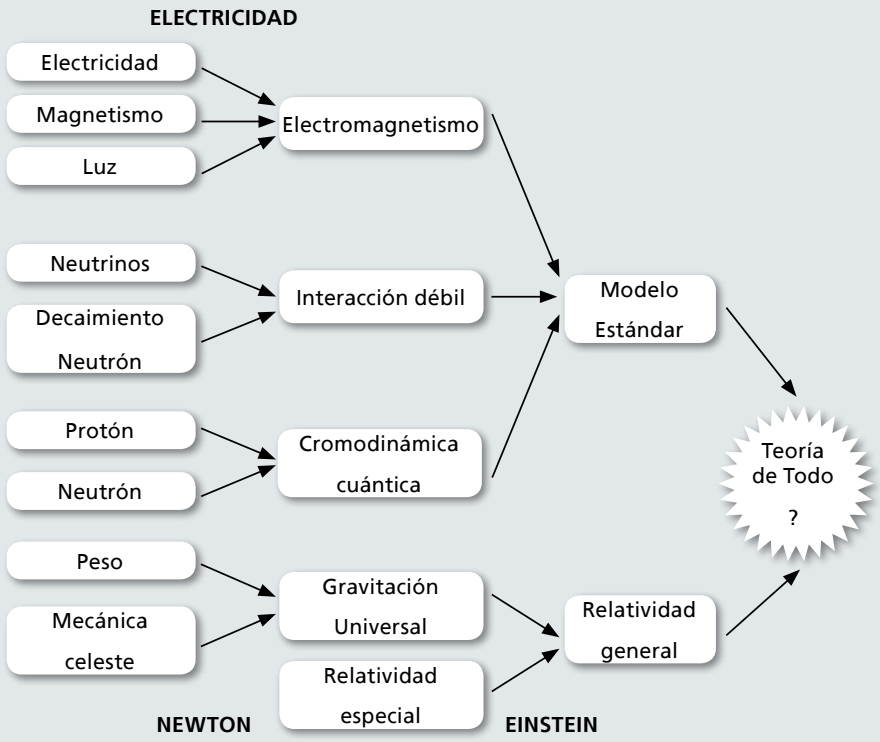
A medida que pasa el tiempo, la simetría se rompe a causa de las circunstancias intermedias, pero de una manera difícil de predecir. En estos casos, los físicos dicen que la simetría se rompe "espontáneamente", lo cual es el pilar del llamado Modelo Estándar de las partículas elementales. Para metaforizar estas situaciones, la idea de un lápiz parado por su punta es adecuada: tiene simetría perfecta pero gran inestabilidad, mientras que, caído por razones azarosas, ya no exhibe simetría, pero sí una situación estable.

"Partículas materiales y partículas mediadoras: ese es el esquema compacto que describe a las partículas elementales en relación a tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la realidad, deducidas y medidas a partir de los poderosos principios de simetría", afirma De Florian. Pero esta economía de ecuaciones tiene su costo; aparece una restricción importante: las masas de todas las partículas elementales deben ser nulas. Esto último es un inconveniente lógico si tuviéramos que pensar en resignar la medida experimental de la masa del electrón o los alcances conocidos de las tres fuerzas que definen nuestro mundo actual.

Esta RES es lo que ocurre con las partículas de las teorías de gauge y es la responsable de las diferencias finales entre las tres fuerzas básicas, excluyendo a la gravedad. Tras la ruptura, los alcances de las fuerzas se diferencian entre sí. Esta combinación de RES y TGs es lo que los físicos denominan "mecanismo de Higgs", que incluye la existencia de una partícula llamada Bosón de Higgs.

Con estas ideas, los físicos lograron modelizar y medir experimentalmente la unificación del electromagnetismo y la fuerza nuclear débil, o *fuerza electrodébil*, y predecir la existencia de primos bosónicos del fotón llamados W+, W- y Z. La conclusión es que las propiedades de las partículas elementales no dependen sólo de las ecuaciones de la teoría, sino también de cuál de las soluciones es aplicable a nuestro universo. En la RES existe una cantidad física, particularmente un campo, cuyo valor indica que la simetría se ha roto y cómo se ha producido esa ruptura:

## HISTORIA DE LA UNIFICACIÓN DE LAS INTERACCIONES




*Una expedición al mundo subatómico, Daniel de Florian, EUDEBA (2007), página 130.*

## PARA LEER, VER Y ESCUCHAR

- *Una expedición al mundo subatómico*, Daniel de Florian, EUDEBA (2007)
- "El bosón que mueve multitudes", Portal Noticias Exactas (2012)
- *El sueño de una teoría final*, Steven Weinberg, Editorial Crítica (1992)
- *Las dudas de la física en el siglo XXI,* Lee Smolin, Editorial Crítica (2007)
- "The Higgs Boson Explained" *(http://vimeo.com/41038445)*, PHD Comics, CERN, (2011)

"el campo de Higgs". De hecho, la unificación electrodébil exige la presencia de un campo de Higgs y que éste se manifieste como una partícula elemental, el Bosón de Higgs, mediador de la interacción asociada a ese campo. Sin embargo, como la teoría no permite predecir la masa del Bosón de Higgs, fue el colosal experimento del LHC el que la logró fijar en 125 gigaelectronvoltios.

*– Imaginá un campo que permea todo el universo. Si bien cada partícula siente este campo, están afectadas por diferentes intensidades.*
*– Algunas partículas son realmente desaceleradas por este campo...*
*– Otras partículas apenas lo sienten.*

*The Higgs Boson Explained.*
*PHD Comics, CERN, (2011).*

De Florian continúa: "La interacción de todos los actores –partículas materiales y mediadores sin masa, más el Bosón de Higgs– tiene lugar en un escenario determinado. ¿Cuál?, el vacío. El vacío no es simplemente la nada misma sino que, desde el punto de vista cuántico, es un mundo fascinantemente complejo. Pero un electrón sin masa atravesaría el vacío a la velocidad de la luz, y el vacío es simétrico frente al intercambio de partículas sin masa. ¿Quién rompe esa simetría? El Bosón de Higgs.

El Bosón de Higgs y su campo son como un fluido que impregna todo el vacío; luego, el movimiento de toda partícula elemental en el vacío estará condicionada por la interacción con aquél. Si partícula y bosón interactúan poco, la partícula se moverá rápido, tendrá poca inercia y su masa será pequeña. Caso contrario, la masa de la partícula interactuante con el Bosón de Higgs será grande y su inercia mayor". Metafóricamente, el vacío operará, en este caso, como un gran mantel de Higgs que dificultará el movimiento de bolitas grandes mucho más que el de pequeñas, ambas echadas a rodar sobre él.

### Hágase la masa

En conclusión, los físicos aprendieron que todas las partículas del modelo estándar, excluyendo a la partícula de Higgs, adquieren sus masas a partir de la ruptura de la simetría entre las fuerzas débil y electromagnética. Si esa ruptura no existiera, entonces el electrón y las partículas W+, W-, Z y todos los quarks –componentes del neutrón y el protón–quedarían, como el fotón, sin masa. El problema de comprender las masas de las partículas elementales conocidas es, por consiguiente, una parte del entendimiento del mecanismo mediante el cual la simetría electrodébil se rompe espontáneamente. La partícula de Higgs es la única partícula cuya masa aparece directamente en las ecuaciones de la teoría, mientras que la ruptura de simetría electrodébil da a todas las demás partículas masas que son proporcionales a ella.

Vista la libre y profusa interpretación mediática del colosal descubrimiento del LHC, el experto Daniel de Florian finaliza enumerando varias aclaraciones: "El Bosón de Higgs no es la partícula que da origen al universo, si bien se la encuentra en ese instante primordial; tampoco es el motivo por el cual nosotros tenemos masa. Es la razón por la cual las partículas elementales la tienen y, finalmente, no es la partícula divina, tal como el editor de un libro de divulgación del Nobel de física León Lederman decidió rebautizarla 'con criterio comercial' contrariamente a la certera caracterización del autor como la *partícula maldita*".

Ni divina, ni maldita. La última pieza del rompecabezas de las partículas elementales.

## El macá tobiano en peligro

# Al borde de la extinción

**El macá tobiano acaba de ser ubicado en la última categoría de riesgo antes de la extinción. Se perdió un 80 por ciento de su población en los últimos 25 años. Es una especie que solo habita en la Argentina.**

*Cecilia Draghi - cdraghi@de.fcen.uba.ar*

Si no se toman medidas, en diez años el macá tobiano podría desaparecer de la faz del planeta. Esta ave, que solo habita en la Argentina, acaba de ser recategorizada, internacionalmente, en peligro crítico, el máximo nivel de alerta, tras declinar en un 80 por ciento su población en los últimos 25 años, según estudios realizados por investigadores nacionales.

"Esta es la primera especie endémica de Argentina en peligro crítico. Es decir, toda la población a nivel mundial del macá tobiano está en nuestro país", recalca Juan Carlos Reboreda, profesor de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. "Estamos hablando de una especie cuya problemática de conservación está en manos de argentinos", agrega.

Cada año, la organización *BirdLife International*, asesora científica en aves de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, da a conocer el listado de especies en las distintas categorías de amenaza (vulnerable, en peligro y en peligro crítico, o sea, en alerta roja). "En diciembre pasado, Ignacio Roesler, becario del CONICET con lugar de trabajo en el Departamento de Ecología, Genética y Evolución, envió un informe a *BirdLife International* proponiendo que el macá tobiano pase de la categoría 'en peligro' a 'en peligro crítico' teniendo en cuenta que ha habido una declinación de más de un 80 por ciento de la población de estas aves en los últimos 25 años", indica Reboreda, y precisa: "El último muestreo, en la década del 80, estimaba que había entre 3000 y 5000 individuos, y nuestros estudios recientes señalan que la población total no supera los 800 individuos. En particular, en un conjunto de lagunas en las que en los años 80 se habían registrado unos 2500 individuos, en la actualidad hay menos de 500".

Los pocos ejemplares que hoy sobreviven se reproducen en lagunas de altura en las mesetas de la región oeste de la provincia de Santa Cruz entre noviembre y marzo, para luego volar hasta 500 kilómetros para alcanzar la costa atlántica del sur provincial. De cuello y cuerpo blanco, que contrasta con su lomo negro, el macá tobiano es un ave muy adaptada a la vida acuática. Sus atractivos seducen a numerosos naturalistas de todo el mundo desde hace relativamente poco tiempo, dado que esta ave recién se descubrió en 1974. Justamente, este hallazgo tardío es otro componente que centró las miradas en este animal de medio kilo de peso, que en octubre del año pasado fue tapa de *World Birdwatch*, una de las principales revistas de conservación de aves, y motivó una campaña internacional de recolección de fondos para implementar medidas de conservación de esta especie emblemática de la Argentina.

### Peligros al acecho

Las causas que motivan la franca disminución del macá tobiano están en pleno proceso de estudio. Las mesetas ubicadas entre los 700 y 1500 metros de altura en el sur argentino son su hábitat natural en el verano. "Cada una de estas mesetas funciona como una especie de isla y presenta diferentes problemas. En algunas de ellas, la principal problemática se da por la introducción de la trucha arcoiris, que compite por el alimento con estas aves", explica el biólogo Roesler. En este sentido, Reboreda, doctor en biología e investigador principal del CONICET, puntualiza: "Muchas lagunas fueron sembradas con truchas. En una de ellas, El Islote, en los censos del '80 se registraron hasta más de mil individuos de macá tobiano, y ahora no hay ninguno. Es el caso más dramático".

Foto: Pablo Hernandez

## DE PELÍCULA

La organización Aves Argentinas presentó el documental "El ocaso del macá tobiano", realizado por Marcelo Viñas y Juan María Raggio, con el objeto de alertar acerca del peligro de extinción que corre la especie. La obra, producida con el apoyo de la Secretaría de Turismo de la Nación, se enmarca en el trabajo que Aves Argentinas junto con la Asociación Ambiente Sur y la Universidad de Buenos Aires vienen desarrollando para evitar que esta especie desaparezca. Se puede ver online en la página web:

*http://salvemosalmacatobiano.org*

En esta Patagonia inhóspita y de difícil acceso, no faltan peligros al acecho. Roesler ejemplifica: "En la meseta de Buenos Aires apareció recientemente el visón americano, una especie exótica que se introdujo en la Argentina para criarla en cautiverio y utilizar su piel. Debido a escapes accidentales y a la suelta de visones de establecimientos que cerraron, se transformó en una importante amenaza para varias especies de animales que no tienen respuestas comportamentales apropiadas para defenderse de este sofisticado depredador. Esta especie exótica está expandiéndose rápidamente en cuencas de ríos de la región andino-patagónica". Su voracidad como depredador es sorprendente. "Roesler encontró un ejemplar de visón que mató a 33 ejemplares de una colonia que estaban reproduciéndose. Uno piensa que 33 no es nada, pero 33 en una población estimada de 800 individuos, es un 4 por ciento de la población mundial de macá tobiano depredada por un único individuo de visón", subraya Reboreda.

A veces los depredadores no son importados, sino autóctonos. "Una especie nativa de la Argentina, la gaviota cocinera, que antes estaba en la costa, ahora está afectando a las aves en la meseta patagónica, adonde llegó siguiendo las actividades humanas", relata Roesler, sin olvidar mencionar otros posibles motivos de dificultades: "Hay marcadas fluctuaciones en las precipitaciones níveas, lo que resulta en menos agua en las lagunas, o en la velocidad del viento que destruye los nidos flotantes del macá tobiano. Estas fluctuaciones naturales, probablemente no hayan sido importantes en el pasado pero, en la actualidad, con una población reducida debido a actividades antrópicas, pueden ser un factor de riesgo importante ya que si la especie no logra reproducirse exitosamente durante varias temporadas reproductivas (como aparentemente ocurrió entre 2008 y 2010) podría llegar a extinguirse".

En medio del silencio patagónico, el canto del macá tobiano es el más sonoro del ambiente. Pero muchas de estas voces ya se acallaron para siempre en distintos lugares del mundo. "De las 22 especies de macaes, tres ya se extinguieron y cinco están en alguna de las categorías de amenaza. Es el orden de aves que tiene mayor proporción de especies con problemas de conservación", advierte Reboreda. El panorama en el horizonte de esta ave en peligro crítico es avizorado por Roesler: "En los próximos diez años hay un 50 por ciento de probabilidades de que se extinga la especie, si no se hace nada al respecto".

¿Qué se puede hacer para evitar que desaparezca? "Controlar el avance de especies exóticas de diversas maneras", coinciden en destacar. "Si las truchas son un problema, dejar de sembrarlas", ejemplifican.

Algunas experiencias ya han dado resultados satisfactorios. Es el caso de Roesler quien llevó adelante una prueba en una colonia de nidificación de estas aves, donde una persona estaba encargada de espantar especies molestas como las gaviotas cocineras. Con estas simples medidas, "en la última temporada reproductiva se logró que una de las colonias de nidificación produjese juveniles (fue el primer caso en los últimos 4 años de nidificación exitosa)", destaca.

No son las únicas posibilidades que se manejan para evitar que el macá tobiano se extinga. "Hay varias medidas que dan vuelta", indica Reboreda, del Departamento de Ecología, Genética y Evolución de Exactas y menciona investigadores de esta facultad y de otros centros académicos del país, que están realizando estudios que pueden ayudar a entender el motivo de la declinación de esta especie. "Hay un proyecto para armar un parque nacional a partir de tierras fiscales que incluya las principales lagunas que mantienen poblaciones de macá tobiano en la actualidad; hay un marcado interés de la provincia de Santa Cruz por involucrarse en la conservación de esta especie y hay ONGs como Ambiente Sur y Aves Argentinas, que han trabajado y siguen trabajando activamente en este proyecto. En ese sentido creo que, a pesar de la gravedad de la situación de esta especie, todavía podemos ser optimistas", concluye el biólogo.

## Proyecto *Imaginary*

# Una mirada creativa

**Si bien la matemática no parecería atraernos naturalmente, en realidad, es parte de todo lo que nos rodea: la tecnología de Internet y los celulares, el conocimiento necesario para grandes construcciones e inversiones, e incluso, diferentes juegos de entretenimiento, todos tienen algo de matemática. Lo que tal vez no mucha gente sabe es que esta disciplina también tiene mucho que ver con el arte. Así lo evidencia un proyecto que se presenta en Tecnópolis, la megamuestra de ciencia, tecnología y arte que organiza el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.**

*Daniel Alejandro Grimaldi - grim.daniel@gmail.com*
*Fotos: Diana Sierra*

La matemática y el arte estuvieron unidos desde sus comienzos, aunque actualmente no sea fácil asociarlos a simple vista. De hecho, hablar de arte es sinónimo de hablar de belleza, libertad y creatividad, cualidades que no parecerían estar presentes en la matemática. Sin embargo, uno puede encontrarlas con facilidad, sólo hay que saber ver. Con esta idea nace el proyecto *Imaginary*, que tiene como objetivo mostrar que la matemática tiene esos mismos atributos. Y lo hace en el sentido más literal, mediante una muestra artística.

Esta exhibición de *arte matemático*, nacida en Alemania en 2008, en el marco del Año de las Matemáticas, hoy puede encontrarse en su versión argentina en el área de Matemática de Tecnópolis, la megamuestra de ciencia, tecnología y arte que funciona en el Parque del Bicentenario, en la localidad de Villa Martelli.

*Imaginary* surgió a través de un convenio entre el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, el Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y el Instituto de Investigación Matemática Oberwolfach (de Alemania), creador y promotor del proyecto. Así, *Imaginary Argentina* se suma a esta muestra internacional de divulgación que ya es furor en varias partes del mundo, porque deja que el visitante se exprese como un artista plástico, usando a la matemática como un pincel.

La manera en que *Imaginary* logra que el público interactúe con el arte y la matemática es a través de programas de computación con una interfaz de usuario muy sencilla y atractiva. En la exhibición nacional se presentan dos programas de *software*: el *Surfer*, con grandes pantallas táctiles dentro de una semiesfera, y el programa *Morenaments*, que genera un mural de mosaicos, que van cambiando a gusto del visitante que lo usa.

### Una muestra de ciencia, arte y tecnología

El *software* más importante de *Imaginary* es *Surfer*, por ser el primero en nacer de este proyecto y, por lo tanto, está en todas las muestras. Su objetivo es que el usuario genere una imagen en tres dimensiones en tiempo real, la pueda rotar y cambiar su color y forma. Esto último sólo puede hacerse modificando la ecuación matemática que la acompaña, ya que la imagen no es otra cosa que una representación de las soluciones de la ecuación como puntos en el espacio. En principio, esto puede sonar algo complicado, pero la realidad es que no hace falta entender qué es lo que sucederá con la imagen, sólo se necesita saber escribir correctamente una fórmula.

De hecho, lo enriquecedor de este programa radica en experimentar qué sucede si uno cambia la ecuación. El doctor Pablo Groisman, investigador del CONICET y uno de los Directores de Contenidos de la muestra por parte del Departamento de Matemática de Exactas-UBA, enfatiza esta idea: "*Surfer* tiene algo fantástico, y es que lo pueden disfrutar todos: un niño de cinco años que no sabe de matemática; el de formación primaria o secundaria, hasta aquellos con formación universitaria, como investigadores de otras disciplinas, de otras ramas de la matemática, e incluso los de esta área, los geómetras algebraicos". Y agrega: "Además, da la posibilidad de experimentar lo que hace un matemá-

*El proyecto Imaginary consiste en usar los componentes estéticos y visuales de la matemática como estímulo para explicar a los visitantes el contenido matemático subyacente de una forma interactiva.*
*Derecha: ejemplos de imagenes hechas en SURFER.*

tico, y cómo se relaciona con su disciplina, ya que hay matemáticos que trabajan con este programa".

El programa *Morenaments* es diferente, pues en este *software* no hay números ni fórmulas, sino líneas y colores. Propone al visitante que elija un color, un grosor y una simetría. En base a esos datos y al dibujo que el visitante diseñe, el programa genera un mosaico que se repite en toda la pantalla, y ésta es proyectada en una de las dos paredes laterales del lugar donde se lo encuentra: La Habitación de los Ornamentos. Groisman explica la matemática que hay detrás: "Aunque en principio puede creerse que hay infinitas formas de hacer ornamentos en un plano, se puede demostrar que en realidad hay exactamente 17, si nos basamos en simetrías, rotaciones, traslaciones, traslación con deslizamiento y reflexiones".

Un dato interesante es que, a pesar de que la matemática de *Surfer* es mucho más comprensible que la de *Morenaments*, este último resultó ser mucho más intuitivo para los visitantes. "Me imaginaba que gustaría más *Surfer*, porque uno puede explicar qué está pasando, mientras que la matemática de *Morenaments* creo que es más inaccesible", opina Groisman. Aunque destaca que "las producciones de *Morenaments* son muy llamativas y en escala grande, pues queda toda la habitación diseñada por uno, y ello lo hace mucho más exitoso que lo que yo me imaginaba".

## Una relación próspera

Si bien el proyecto *Imaginary* saca a la luz uno de los enfoques artísticos que puede tener la matemática, estas dos disciplinas ya se conocían desde hace tiempo. Por ejemplo, fue Pitágoras el descubridor de las leyes de armonía musical y de las relaciones aritméticas de la escala musical. Da Vinci aplicó en algunas de sus obras más famosas, como la Gioconda, la proporción áurea, un número que aparece en varias imágenes de la Naturaleza. También los cuentos de Borges están empapados de nociones matemáticas. Y es innegable su presencia en la escultura y en la arquitectura desde los primeros tiempos de la humanidad.

De esta forma, uno puede notar que hay matemática en todas las artes. Pero también hay arte en la matemática: hay belleza y creatividad en el planteo de problemas tanto abstractos como reales, en la transparencia de una demostración y en la aplicación de ideas que sean simples y novedosas a la vez. De hecho, según Groisman, la idea de belleza matemática está fuertemente ligada a la de simplicidad: "Al comprobar una prueba matemática, se considera que los argumentos son correctos porque le convencen, y es más fácil dejarse convencer por argumentos simples, transparentes, que argumentos oscuros, cerrados".

Gracias a *Imaginary*, este lazo entre arte y matemática no sólo se redescubre para todos, sino que además invita a que la sociedad participe: ya hay comunidades por todo el mundo que usan los diferentes *softwares* del proyecto para hacer muestras personales, catálogos, concursos y más. Si bien en todo el mundo la visión de la matemática está cambiando poco a poco, Argentina se suma al proyecto en un momento en que están naciendo grupos de divulgación de la matemática en distintas universidades del país, imaginando que es posible ofrecer una mirada diferente sobre esta ciencia.

Mejoras para el aprendizaje

# El problema de plantear problemas

A partir de los años 80, las estrategias de aprendizaje basadas en la resolución de problemas cobraron una particular relevancia. El desafío consiste en plantear cuestiones novedosas que logren involucrar a los estudiantes, generando un verdadero deseo de transitar el camino de la búsqueda de respuestas. En esta sección, conceptos, sugerencias y ejemplos para trabajar en clase, a cargo de especialistas.

*Elsa Meinardi* - emeinardi@cefiec.fcen.uba.ar*

China tiene uno de los sistemas educativos más grandes del mundo, formado por unos 15 millones de docentes y más de 250 millones de estudiantes. Los cambios producidos en su sistema económico en los últimos años los han llevado a la necesidad de plantearse qué se espera de la educación de sus ciudadanos, ahora que hay que insertarlos en un sistema productivo que tiene nuevos desafíos. Hace pocos años visitó la Argentina Jing Wei, una funcionaria del Ministerio de Educación de China. Durante su visita, Wei habló con un matutino porteño. Entre otros temas, mencionó lo que consideraba el mayor defecto de la educación en China. "Tenemos un serio problema: no somos innovadores en educación. Nuestros alumnos tienen serias dificultades para pensar por sí mismos, son dóciles, siguen fácilmente las indicaciones que les dan otros", dijo. Ante la pregunta por la causa de ese problema, respondió que "la responsabilidad está en la pedagogía que se aplicó en este país durante años, el centro de la enseñanza fueron los docentes y no los alumnos".

Es fácil ver que si 300 millones de estudiantes no fueran medianamente dóciles tendrían un problema, al menos, muy numeroso pero esta docilidad también puede atentar contra la innovación y la creatividad, como bien señaló Wei.

La creatividad es un rasgo del pensamiento que recién hace unos pocos años es reconocido como un componente de la inteligencia; se les atribuía creatividad a los artistas, a las personas dedicadas al trabajo manual, a las mujeres y a pocos más, dando a entender que la creatividad estaba involucrada en habilidades no muy importantes del pensamiento.

## Estimulación creativa y comprensión

En los años 60, los docentes de la carrera de Medicina en la Universidad de Ontario, Canadá, notaron que el aprendizaje que mostraban los alumnos en las pruebas sobre conocimientos teóricos no se correspondía necesariamente con su capacidad para aplicarlos. En otras palabras, el rendimiento en la evaluación de contenidos no era un buen indicador de la aptitud de los estudiantes para transferir sus conocimientos –para este caso– en el diagnóstico de enfermedades.

Este descubrimiento resultó un motivador importante en la búsqueda de nuevas formas de enseñar y de aprender y significó el puntapié inicial para el "aprendizaje basado en problemas" (ABP). En la década del 80 se creó un programa especial en la Facultad de Medicina de la Universidad de Harvard, con un currículo centrado en el ABP y 10 años después comenzó a extenderse a otras universidades de distintos países. El ABP es, actualmente, una de las líneas de investigación más fructíferas en la enseñanza de las ciencias naturales tanto en la enseñanza universitaria como en la de nivel secundario.

Este aprendizaje basado en problemas implica que el docente se involucre en plantear situaciones nuevas a los estudiantes o bien cuestiones conocidas pero a las que frecuentemente se presta poca atención, que resulten atractivas de manera que despierten interés y deseo de resolverlas.

Al analizar los aprendizajes que muchas veces se logran a partir de una enseñanza meramente expositiva por parte del docente, se ve que no es necesario que los estudiantes comprendan un tema o concepto para resolver los problemas que se les plantean. Resolver problemas tradicionales –que se podrían considerar ejercicios y no problemas– puede reforzar actitudes superficiales en los estudiantes y disuadirlos de querer

comprender. Así, muchas veces la forma en que los estudiantes encaran las cuestiones por resolver es reforzada por años de aprendizaje ritualizado, memorización y exposición. Sumado a esto, las prácticas de evaluación tradicionales muchas veces no miden la comprensión de un tema.

Para que los ejercicios de resolución mecánica o algorítmica se transformen en verdaderos problemas se ha propuesto el trabajo con problemas de características particulares:

- que planteen una situación lo suficientemente compleja para sustentar múltiples enfoques y generar diversas soluciones (no necesariamente todas correctas, ya que lo que más importa es el proceso de pensamiento que llevó al estudiante a producir esa respuesta);
- que permitan un análisis cualitativo;
- que favorezcan la emisión de hipótesis, el diseño de las estrategias de resolución, la anticipación de los resultados o su posterior análisis, para lo cual se sugiere plantear el aprendizaje alrededor de tareas amplias y problemas relevantes;
- en los que se apoye el trabajo del alumno, promoviendo los grupos colaborativos que estimulen el uso de distintas fuentes de información (siempre accesibles a los estudiantes).

Además, se sugiere que el docente incorpore a la planificación de las clases las preguntas e ideas de los estudiantes (que muchas veces conocemos de antemano o bien que surgen cuando damos lugar a que se expongan en las clases) y, sobre todo, que evalúe el aprendizaje de forma coherente con sus objetivos de enseñanza. En este sentido, la evaluación y la enseñanza se fusionan a favor del alumno, es decir, la evaluación contribuye con el propósito de apreciar que los alumnos hayan alcanzado las metas significativas que hemos definido al planificar la enseñanza. Esto es, evaluar en coherencia con nuestras intenciones educativas, para lo cual habrá que pensar que el rol de la evaluación no debe ser principalmente selectivo sino formativo. La evaluación es parte del proceso de enseñanza, regula la planificación de las clases y su desarrollo.

Miguel Zabalza, en su libro "La enseñanza universitaria" (Narcea, 2004), sugiere utilizar métodos de enseñanza que conduzcan al trabajo activo y autónomo de los estudiantes. La capacidad para manejarse en un contexto con fuentes de información múltiples, la actitud de

## CASO 1: HERVIR AGUA CON HIELO

**a.** Conseguir un balón Pirex o de vidrio resistente al calor directo (¿Qué propiedades tiene este vidrio que permite ser calentado en fuego directo? ¿A qué se debe?). Puede ser una cafetera de vidrio con una tapa que cierre herméticamente,

**b.** Ponerle agua caliente hasta la mitad,

**c.** Poner el agua a hervir, puede ser sobre un mecherito casero o una vela,

**d.** Sacar el recipiente del fuego y taparlo (bien tapado, que no pierda),

**e.** Darlo vuelta (ver que el agua ya no hierve) y colocar arriba unos cubitos de hielo.

¿Por qué el agua vuelve a hervir cuando ponemos los cubitos?

Martín Zabala

búsqueda constante y de contrastar los datos, de llevar a cabo todo el proceso completo de actuación desde la planificación hasta la ejecución y evaluación de las intervenciones forman parte de los "grandes aprendizajes" que nuestros estudiantes adquieren fundamentalmente a través de las actividades que hayamos planificado para su educación.

La resolución de problemas puede ser usada con distintos fines didácticos, por ejemplo para determinar el aprendizaje de un tema, para indagar las ideas previas de los estudiantes, como movilizador en la motivación de los alumnos o como herramienta o medio para lograr el aprendizaje. También puede ser un instrumento de investigación educativa. Además, la resolución de un problema, la respuesta a una pregunta, bien podría ser el eje central de una actividad de laboratorio o trabajo práctico.

Así, se considera que la educación científica no sólo debe servir para conocer conceptos sino comprenderlos y saber utilizarlos, poder dar explicaciones del mundo próximas a las explicaciones científicas, resolver problemas, comprender un discurso científico y saber diferenciar cuáles son argumentos de calidad y cuáles no. Y para eso, se ha visto que la enseñanza tradicional, de tipo expositiva, que no contempla los conocimientos y las capacidades de los y las estudiantes, no basta.

## No cualquier pregunta es un problema

El planteo de un problema tiene que permitir la emisión de una o varias hipótesis; además, es conveniente que dicha hipótesis pueda ser pensada de manera experimental. Por ejemplo ¿cómo haríamos para poner a prueba las hipótesis que se formulan como respuesta al problema?

Un aspecto importante en el ABP es que un verdadero problema nunca puede ser respondido con "sí" o "no". Algunos autores mencionan que los problemas cerrados, de respuesta única, no son verdaderos problemas. Sin embargo, en nuestra experiencia hemos hallado que depende del mecanismo que se use para su resolución. Y eso lleva a considerar que una pregunta puede conducir a un alumno/a a una respuesta rápida mientras que para otro/a puede ser un verdadero problema. Por ejemplo, las preguntas que formulamos arriba no constituyen verdaderos problemas para un químico, mientras que para un profano y para muchos alumnos y alumnas de la escuela media serían verdaderos problemas.

Lo ideal es que a lo largo de un trayecto escolar, los docentes puedan planificar la resolución de problemas cada vez más complejos (Ver casos propuestos en los recuadros). La dificultad de una actividad depende, entre otras cosas, del grado de conocimiento que poseemos para resolverla. Muchas de las actividades que planteamos a los alumnos suelen ser meros ejercicios para los docentes, como identificar un animal, calcular el tipo de descendencia de un cruzamiento, comparar los procesos de mitosis y meiosis y relacionarlos con la gametogénesis y el ciclo de vida. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas actividades constituyen verdaderos problemas para nuestros estudiantes, ya que están alejados de la posibilidad de resolverlas de manera inmediata.

Si deseamos que los estudiantes se involucren en la comprensión de un tema complejo, vale la pena hacer el esfuerzo de encontrar preguntas o problemas que se transformen en un enigma para ellos; el pensamiento creativo puede ser estimulado de esta forma. Dirán que es más trabajo para los docentes. Y, sí, pero más divertido también.

*Directora del Instituto de Investigaciones CEFIEC - Centro De Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, EXACTAS UBA.*

## CASO 2: UN PROBLEMA DE RESACA*

Un día, el señor X amaneció en una habitación donde todo era enorme. Estaba desnudo. Lo que normalmente se ven como hilos de un acolchado parecían enormes sogas y se oía el sonido de un reloj como si fueran las campanadas de un mecanismo gigantesco. Es verdad que la noche anterior había estado festejando (y mucho) y podía ser que sus amigos, en medio de la borrachera, lo hubieran trasladado a una casa de bromas con una habitación donde todo había sido agrandado. Pero también podía ser que él se hubiera achicado. Es verdad que aún no se le pasaban completamente los efectos del festejo y no podía pensar claramente.

Como X era un científico, decidió tratar de pensar qué indicadores podía encontrar adentro de la habitación –ya que no podía salir porque no alcanzaba la manija de la puerta y además, se la veía enorme– para determinar si se había achicado o si los amigos le estaban haciendo una broma.

Ayuda: Si el señor X se hubiera achicado, sus ojos actuarían como una ranura y vería efectos de difracción de la luz. ¿Qué otros datos podés aportar?

Más ayuda: ¿Qué pasaría con la temperatura corporal de X? ¿Se podría desprender de sus mocos fácilmente? ¿Y si mirase una gota de agua, vería diferencias en el tamaño? ¿Y cómo sería el sonido de su voz? ¿Quedaría enganchado a la frazada de la cama? ¿Podría caminar por las paredes? ¿Por qué?

Por último, unas preguntas más: ¿Qué significa achicarse? ¿Se encogerán las células o el número de células? ¿Hay un límite para el encogimiento de las células? ¿Cuál, por qué?

**Adaptado de una idea de Agustín Rela y Jorge Sztrajman*

Giant Furniture by Robert Therrien

## CASO 3: DEBATES MENDELIANOS

Trabajar con debates promueve la capacidad de usar conocimiento científico en la resolución de problemas que demandan la participación y toma de decisiones; también puede ser útil para contribuir a desarrollar un pensamiento crítico que permita discernir los peligros que muchas veces involucra la adopción de conductas basadas en posturas pseudocientíficas. Muchas veces estudiamos, leemos, nos preguntamos sobre cuestiones de genética pero pocas veces hemos leído el trabajo de Mendel. ¿Somos capaces de interpretar sus palabras? Veamos.

*"Gärtner, mediante los resultados de estos experimentos de transformación, fue llevado a oponerse a la opinión de aquellos naturalistas que (...) creen en una continua evolución de la vegetación.*

*Él percibe en la completa transformación de una especie en otra una indudable prueba de que las especies están prefijadas con límites más allá de los cuales no pueden cambiar." (Mendel, 1866)*

¿De qué hablaba Mendel en este escrito? ¿Podemos interpretar que se oponía a la idea de evolución, o bien que en sus escritos hacía referencia solamente a la herencia de caracteres de una generación a otra.

Cuando menciona "la transformación de una especie en otra", ¿cuál es el concepto de especie que utiliza? ¿Cómo se interpreta el hecho de que si hay una completa transformación de una especie en otra, al mismo tiempo están confinadas?

**Testimonio a favor de Mendel**

Nadie dudaría actualmente en ponerse del lado de Mendel. Los defensores del llamado "diseño inteligente" (movimiento muy vigente en algunos países) también se ubican ahí:

"Hasta en el último escrito de Mendel tenemos evidencia de su oposición a las erróneas ideas evolucionistas. Las especies se encuentran confinadas dentro de límites naturales más allá de los cuales no pueden variar, eso está escrito en el Génesis de la Biblia, fundamento de toda verdadera ciencia, y eso lo demostró elegantemente Mendel. Con dicha demostración y trabajo, Mendel hoy es reconocido como el fundador de la genética, sin importar los críticos presentes o los de su tiempo" (versión completa en *http://www.oocities.org/fdocc2/mendelz.htm*).

**Testimonio en contra**

Podríamos decir que en el bando contrario a los defensores del diseño inteligente se encontraba Lysenko, quien hablaba de ciencia burguesa en referencia a la genética mendeliana. ¿Por qué?

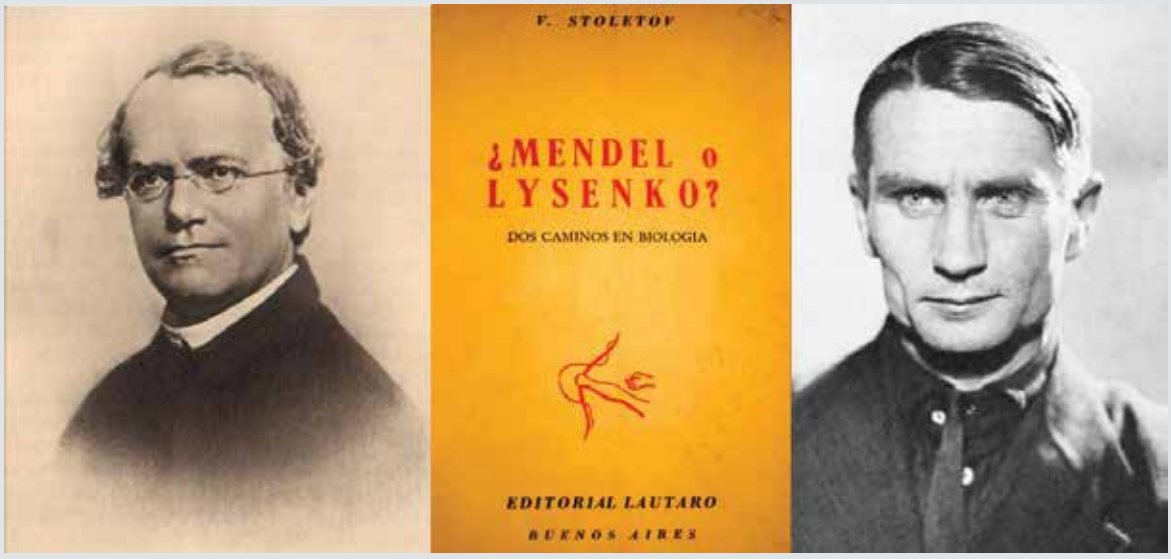
"El 31 de julio de 1948 Trofim Denisovich Lysenko presentó la ponencia que le había encargado Stalin sobre "La situación en las ciencias biológicas: Informe en la Sesión de la Academia Lenin…". La sesión consagró totalmente a Lysenko y condenó "los errores maltusianos de Darwin", "y el carácter reaccionario de Mendel y de la ciencia extranjera". Quedaron eliminadas la investigación y la docencia de la genética clásica y al mismo tiempo los científicos que hicieron su autocrítica fueron "reprimidos" o tuvieron que cambiar de campo. Hubo varios suicidios y tres mil biólogos fueron cesados" (Kirill Rossianov, disponible en: *http://aleph.academica.mx/jspui/handle/56789/8040*).

**Preguntas**

¿De qué lado te pondrías? ¿Con qué argumentos te ubicás en ese lugar particular, cómo justificás tu decisión? ¿Fue Mendel un antievolucionista? ¿Qué significa la afirmación de que las especies se encuentran confinadas dentro de límites naturales? ¿Es verdad lo que proponía Lysenko sobre la hibernalización de las semillas, es decir, la capacidad de que el ambiente modele la naturaleza?

¿Por qué se acusa a Mendel de reaccionario? ¿Qué tiene que ver esta crítica con sus descubrimientos?

La resolución de esta situación problemática implicará varias actividades cognitivas: conocer y comprender los experimentos de Mendel y su fundamentación teórica, comprender los términos usados por Mendel contextualizados en su época, como por ejemplo, qué significado tiene "su oposición a la continua evolución de la vegetación", conocer cuestiones políticas relacionadas con Lysenko, que dan lugar a su frase: "ciencia burguesa" para referirse a Mendel, comprender cuál es la importancia de los adeptos al diseño inteligente de trastocar el significado de las palabras de Mendel... Y continuar esta lista puede ser un problema en sí mismo para hacer una reflexión con nuestros alumnos y alumnas.




*Portada del libro* ¿Mendel o Lysenko? Dos caminos en Biología, *junto a sus retratos. Editado en 1951*

# Un científico bipolar

Así se llama en la jerga científica a quienes han trabajado en los dos polos: la Antártida y el Ártico. Tal es el caso del doctor en Geología, Juan Manuel Lirio, con 30 expediciones en carpa en latitudes australes y una campaña en territorio cercano al Polo Norte. En esta región boreal, es una de las últimas personas en vivir en la isla que hoy es una reserva de osos polares y no puede ser pisada por humanos.

*Cecilia Draghi - cdraghi@de.fcen.uba.ar*
*Fotos: Gentileza Juan Manuel Lirio*

"Es un investigador bipolar", así lo presentaron a Juan Manuel Lirio en una reunión de amigos. Ante la cara de sorpresa de su interlocutor, enseguida explicaron que no sufría ningún trastorno psiquiátrico, sino que de ese modo llaman en la jerga científica a quienes han trabajado en tierras cercanas al Polo Norte y Polo Sur. Y él lo ha hecho, desde 1985 hasta hoy. Lleva treinta campañas en la Antártida, cinco de ellas en invierno, y casi todas en carpa, donde ha soportado temperaturas inferiores a 30 grados bajo cero. "Cuando hacía 12 grados bajo cero, el día era agradable y te permitía salir a hacer trabajo de campo", dice.

En el otro extremo del planeta, el Ártico, el frío no resultó feroz porque fue en verano, pero pasó casi un mes en un refugio anti-osos de la Isla Kongsoya (Noruega) donde debió ir armado para asegurarse la vida. "Es como si fuera un zoológico al revés. Uno está enjaulado y los animales andan sueltos", compara. Él fue uno de los últimos humanos en habitar ese suelo, porque luego ese territorio insular se destinó como reserva exclusiva del oso polar.

En su Mendoza natal, Lirio jamás imaginó los caminos que le depararía su pasión por las rocas. Él es el mismo a quien su madre describía de chico como "muy casero y poco salidor". Su viaje para estudiar geología en la Universidad de Buenos Aires y luego su ingreso al Instituto Antártico Argentino, le abrieron un mundo nuevo, donde los desafíos geológicos pasaron a ser su obsesión. "Al principio, estudié el ambiente cretácico, es decir, rocas de más de 65 millones de años. Luego trabajé con geólogos suecos en el período cuaternario, con rocas más jóvenes, de dos millones de años hasta el presente. En especial, investigo los últimos 20 mil años, que quizás ahora llaman más la atención porque se busca comprender mejor el cambio climático global", precisa.

Si el desafío geológico vale la pena, no importa dónde queda el terreno a explorar, allí él va. Así, fue a un refugio ubicado en el Ártico Noruego, llamado Svalbard. Casi a 80 grados de latitud norte, y a unos mil kilómetros del Polo Norte, el verano boreal de 1993 vio flamear dos banderas: una de la Argentina, por Lirio; y otra de Islandia, de donde era su colega y compañero de campaña, Ólafur Ingólfsson. Lo curioso es que ambos iban como integrantes de una expedición

sueca. Ellos se sumaban a un proyecto de descripción de la geología glaciar del Ártico, que ya estaba en desarrollo. “Un helicóptero nos dejó en la Isla Kongsoya, donde nacen el 80 por ciento de los osos de Svalbard. Durante 20 días fuimos los únicos habitantes de la isla, junto con los osos polares”, relata. El refugio tenía ventanas chicas por los cuatro lados, a modo de atalaya, y estaba rodeado por un cerco en el que “explota una bengala cuando un oso tropieza con él, con el propósito de ahuyentarlo”, detalla.

## Parecido y opuesto

Como científico bipolar, Lirio compara: “En la Antártida, uno no sufre el estrés de que un animal lo ataque. Además, la fauna no te tiene miedo porque nunca fue cazada. En cambio, en el Ártico, los alces, renos y zorros son muy asustadizos. Y uno no sólo se debe cuidar, en tierra, del oso polar, sino también, en el agua, de la morsa que puede hundir el bote de goma. Lo que sí encontré en ambos lugares es el gaviotín del Ártico, porque migra”. Hallar este viejo conocido en un lugar tan distante de casa siempre causa alegría. Esta ave es más pequeña que una gaviota. A pesar de su frágil aspecto, resulta una viajera incansable y realiza una de las rutas migratorias más largas conocidas, unos 38 mil kilómetros.

Este gaviotín siempre sigue al verano: va del Ártico a Tierra del Fuego, de ahí a la Antártida y luego vuelve al Hemisferio Norte. Allí se reencontró con Lirio, quien también había hecho un extenso periplo aéreo de la Argentina a Suecia, y tras hacer un curso de supervivencia, siguió viaje en otro avión hasta Longyerbyen, la ciudad más importante del archipiélago Svalbard, ubicado en el Mar Glacial Ártico. “Longyerbyen es un antiguo pueblo minero. Hoy, en una de las minas se almacenan las semillas de todo el mundo como banco genético”, señala. Esta especie de Arca de Noé vegetal, conocida como “Bóveda del fin del mundo” busca salvaguardar de cualquier catástrofe, la biodiversidad de las especies de cultivo que sirven como alimento.

En varios sentidos, Longyerbyen se encuentra en las antípodas de la Antártida. “A pesar de que se halla a la misma latitud que la base General Belgrano, allí hay flores y variada fauna, en cambio el sur es un desierto blanco. En Marambio, se llega a ver que el sol se oculta; eso, en el norte, nunca ocurre. Se llama “sol de medianoche”, porque no hay noche en verano”, compara. Si la Antártida es un territorio de paz, Longyerbyen “sufrió la Segunda Guerra Mundial y la posterior Guerra Fría”, porque esta zona está en el medio de la ex Unión Soviética y Estados Unidos.

Mientras la Antártida está poblada sólo por bases científicas, en el Ártico se puede encontrar un restaurante considerado uno de los mejores de Noruega, una iglesia ortodoxa rusa a cargo de un ermitaño o un negocio tipo *freeshop* con bandejas de carne de oso, de foca o ventas de pieles, según enumera. “En la Antártida no se ven redes de pesca ni troncos de árboles, que allí provienen de Siberia cuando hay inundación. Esto contrastaba –observa– con mi experiencia anterior”.

Longyerbyen fue su primer destino ártico. Tras unos días de aclimatamiento, Lirio e Ingólfsson navegaron el archipiélago junto con estudiantes de la Universidad de Tromso, de Noruega, porque todos participaban de la elaboración del mapa geológico de la zona. “Como mi destino final, la Isla Kongsoya, estaba muy lejos para ir en barco, nos llevaron en helicóptero”, puntualiza.

## Un refugio peligrOSO

De los cientos de mamíferos de la isla, sólo dos eran humanos. Lirio desembarcó por primera vez, e Ingólfsson ya había ido en diversas ocasiones. Justamente por su buena conducta al no haber tenido nunca un altercado con osos, le dieron el pasaporte para ir a ese terreno donde es indispensable llevar un rifle en la mano, y una pistola que lanza bengala en el bolsillo. La consigna siempre es ahuyentar a estos gigantes y esquivarlos, nunca herirlos, a menos que sea en defensa propia.

Con todas las precauciones posibles, y luego de haber escuchado los innumerables relatos sobre ataques de osos que cobraron la vida de otros visitantes, Lirio e Ingólfsson, eran los nuevos huéspedes del refugio científico, con una agenda cargada de actividades.

Los días de buen tiempo, partían a la mañana hacia el campo a explorar. “Caminábamos unos 10 kilómetros diarios –describe–, íbamos cargados con las armas, comida y herramientas. Parte del trayecto, lo hacíamos por la costa con mucho cuidado, porque había témpanos donde los osos podían estar escondidos y uno no los veía porque estaban mimetizados con el hielo  En ese tipo de ambiente, tu vida depende del grupo. Es un trabajo de cooperación. Mientras uno hace las excavaciones de campo; el otro custodiaba con el rifle, es decir, tiene tu vida en sus manos”.

Casi el 90 por ciento del trabajo era cavar. Finalizada su jornada de ocho horas, ambos geólogos volvían cargados con muestras. “Una vez que llegabas al refugio, cerrabas la puerta con un tronco grande que hacía de traba contra la pared. Y dormías tranquilo”, recuerda. Aunque, en una oportunidad, lo despertó sobresaltado una explosión. “Me levanto y veo a una osa con su osezno, que había pasado el cerco y activado la alarma. ¡Pobrecita, el susto que se pegó!”, se lamenta.

¿Cómo fue la convivencia? “No tuvimos ningún problema. Ya habíamos trabajado juntos en la Antártida”, contesta. Si bien entre ellos hablaban en inglés, un gesto del escritor Jorge Luis Borges tuvo su eco años después en ese sitio recóndito. “Borges, en su momento, quiso aprender islandés para leer las sagas en idioma original. Esto, en Islandia lo tienen muy presente, y por eso a Ólafur le gustaba saber cómo era el castellano”, menciona.

Nunca salían cuando había niebla porque “el oso no te ve, pero huele muy bien y podés ser su presa”, advierte. En esos días, se quedaban en el refugio, que tenía una pequeña biblioteca con historias de exploradores polares. Allí cobran otra dimensión los relatos de Roald Amundsen, quien dirigió la primera expedición en pisar el Polo Sur, o de Robert Falcon Scott, el segundo en hacerlo, y morir junto con su equipo en la Antártida. “En el Ártico hay un monumento a Amundsen, en el lugar donde se lo vio por última vez, antes de que saliera a rescatar a una expedición italiana. Parte de la historia antártica está en el Ártico”, destaca.

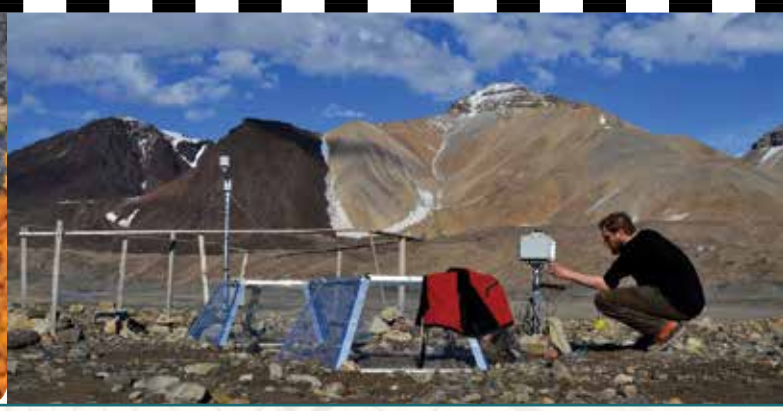
Este refugio peligrOSO encerraba el temor hasta en los juegos. Un tablero de ajedrez de madera y piezas con forma de osos habían sido tallados por un biólogo, quien había ocupado antes la base para estudiar el comportamiento de estos animales. “La última partida, que se jugó en ese refugio, la ganó un argentino”, ríe.

## Invierno en moto

El estado de alerta al que se acostumbró en el Ártico, lo siguió por un tiempo en la siguiente campaña en la Antártida. En este continente blanco, ya lleva 30 expediciones. Cinco de ellas fueron en invierno, siempre en carpa y en moto por la estepa helada. Hacia el mes de agosto, un  grupo de 4 ó 5 personas eran transportadas en un *Twin-Otter*, un avión con dos hélices que tiene patines para aterrizar en el hielo, y eran dejadas en la base Matienzo. “Allí, acomodábamos la carga en unos trineos y seguíamos con motos de nieve unos 100 ó 200 kilómetros, a los lugares de interés, donde acampábamos y sabíamos que estaríamos aislado por 45 días. Tenías que confiar en tu gente”, valora.

Con temperaturas de 30 grados bajo cero, en que “abrís una cerveza y se congela la espuma alrededor de la tapita”, había que aprovechar las 4 ó 6 horas de luz por día para hacer el trabajo de campo. “Ibamos con glaciólogos que estudiaban la barrera de Larsen, que luego colapsó por el cambio climático. Era una barrera de hielo de 200 metros de espesor que se fracturó toda como un espejo roto, y se desprendieron un montón de témpanos”, señala, sin ocultar su estupor. Es que él estuvo por primera vez allí en 1990, precisamente iban en invierno porque los puentes de nieve eran más sólidos y seguros, pero en diez años se despedazaron. “Ahora conviene ir en barco”, advierte.

Hoy se emociona cuando recuerda las andanzas en moto. “Llevábamos la bandera argentina atrás, flameando. Nosotros hacemos soberanía a través de la ciencia. Tenemos que demostrar a la comunidad que somos buenos custodios, buenos administradores de la Antártida. ¿Cómo? Haciendo ciencia y cuidando el medio ambiente”, enfatiza.



## Viento catabático

En la soledad antártica, el viento es ese compañero molesto que se extraña cuando falta. “Al sopapeo del viento en la carpa te llegás a acostumbrar, y hasta lo necesitás. Si la tormenta es fuerte, te quedás en un pequeño huequito dentro de la carpa, en tu bolsa de dormir, y esperás que pase”, aconseja, y más adelante agrega: “El frío te duele. No se puede ni hablar, te da un temblor desde la punta del pelo hasta el pie. Para mí, el infierno –si existe–, es frío. Y en esos momentos pensás: ¿Quién me mandó acá?”.

Si de vientos se trata, el catabático, en la Antártida Oriental, es el más temido. Allí también estuvo Lirio cuando fue parte de una expedición australiana, cuyas bases están situadas en latitudes más extremas. En ese sector está la calota de hielo. “Desde hace unos 3 millones de años, la gran masa de hielo está apoyada sobre rocas muy viejas que conforman el escudo continental. Ahí es necesario escalar, porque el hielo tiene tres kilómetros de espesor. El viento persistente que baja de allí, muy frío y veloz, se llama catabático”.

Para dar una idea aproximada, invita a imaginar lo que sucede cuando se abre el freezer en la cocina de una casa. “El aire frío es pesado y va para abajo, como cascada. Lo mismo ocurre en ese lugar. Lo único que la caída no es de dos metros, como en una heladera, sino de 3000 metros, entonces las ráfagas heladas pueden tener hasta 200 kilómetros de velocidad. Cuando baja y se encauza por los valles glaciarios, no se ve nada. Todo es blanco. Hay que buscar un lugar tranquilo, y quedarse”, grafica.

Las casi tres décadas que pasó en climas hostiles y en ambientes con peligros al acecho, le han dejado la lección de la humildad, y saber que siempre se aprende algo, a pesar de la enorme experiencia acumulada. “La naturaleza te sorprende y no te perdona cuando uno se abusa. A la fatalidad le basta con tener una oportunidad. El tema es no fiarse. Varias veces la Antártida te dice: ‘Acá mando yo’. Es como con el oso, cuando uno se equivoca, viene el zarpazo; y uno sabe que siempre gana el animal”.

La vida de uno no siempre depende de uno; en algunos casos, de la naturaleza; y muchas veces, de los otros. “Son lugares extremos y uno pone su vida en manos del piloto que te traslada en helicóptero, o del capitán del barco, y uno confía en que esa gente hará bien su trabajo. Lo mismo ocurre cuando uno está colgado de una cuerda, y confía en quien la sostiene”, apunta.

## Más que bipolar

El barco que lo traía de la expedición australiana, antes de dejarlo en Australia, recorrió diversas bases antárticas recogiendo a otros investigadores. En esa travesía fueron a la estación francesa Dumont d’Urville, situada en Tierra Adelia, en el archipiélago de Punta Geología. “No pudimos descender porque hubo un desprendimiento de un glaciar cercano y un témpano que se rompió generó una ola que dañó parte de las instalaciones. Nos pidieron que no bajáramos porque no estaban en condiciones de recibir visitas. Sólo nos llevamos a quienes íbamos a buscar”, precisa.

Esta base está muy cerca del Polo Magnético Sur. “Por ahí salen en forma vertical las líneas de flujo magnético. En este lugar, no sirve guiarse por la brújula, porque allí no apunta al norte, sino que se pone vertical y apunta hacia arriba”, advierte, y en tono de broma sostiene: “Así que soy bipolar porque también estuve cerca del Polo Magnético Sur. En la Argentina, hay pocos investigadores que hayan trabajado en los dos polos”.

¿Está en sus planes acceder al lugar más meridional del planeta, el Polo Sur Geográfico, donde se halla muy cerca la base norteamericana Amundsen-Scott? “No me interesa ir porque sólo hay hielo, no hay roca. Si no hay un interés geológico, me quedo en casa”.

La pasión por la geología lo ha llevado a sitios a donde muy pocos humanos accedieron, y él fue siempre detrás de su roca. “La Antártida es una circunstancia, si la roca está en el Sahara, allí voy”, expresa. Enseguida, con humor, asegura: “En la próxima reencarnación estudiaré corales en el Caribe, un lugar donde me caliente los huesos”. Claro que, si entonces bucea en ese cálido mar dando vueltas una y otra vez alrededor de las rocas, ya sabemos la razón.

## Estudio de las huellas fósiles

# Pisadas que hablan

La icnología es una disciplina surgida en los últimos cincuenta años y que se ocupa de estudiar el comportamiento fósil, es decir, analiza las huellas de seres que se desplazaron sobre la superficie terrestre hace millones de años. Pero esas huellas, además de contarnos cómo vivía el organismo en cuestión, permiten describir el ambiente en el que transcurrían sus días.

*Susana Gallardo - sgallardo@de.fcen.uba.ar*

Encontrar pisadas frescas en una playa desierta puede ser desconcertante. Es lo que le pasó a Robinson Crusoe cuando encontró huellas humanas y se sintió alarmado y amenazado: la isla donde se había refugiado no estaba deshabitada, como había creído.

Algo muy diferente es encontrar pisadas o trazas fosilizadas, por ejemplo, de dinosaurios o de otros seres que han vivido hace millones de años. Huellas que nos dicen: "Por aquí pasamos". Lo interesante es que, quienes estudian este tipo de huellas –detectives del pasado–, son capaces de reconstruir la escena completa: hacia dónde iban, qué tamaño tenían, si corrían o se desplazaban con morosidad, qué características tenía la playa, el oleaje o la marea, y muchos aspectos más del entorno.

Esos Sherlock Holmes del pasado son estudiosos de una disciplina que surgió como tal en la década de 1960: la icnología, que emerge como hija de la geología y de la paleontología, pero que hoy ha tomado vuelo propio. Es más, la Argentina es relativamente pionera en formación de escuela en icnología, y es el país de Latinoamérica que, probablemente, tenga la mayor cantidad de investigadores que trabajan en esta disciplina.

"La icnología es el estudio de las huellas o trazas fósiles dejadas tanto por vertebrados como por invertebrados, y que indican un determinado comportamiento", define el doctor Pablo Pazos, investigador en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Y grafica: "Cuando nosotros caminamos con tranquilidad, lo hacemos con un tipo de paso. Cuando corremos, dejamos otro tipo de huella. Si el suelo está caliente, corremos de una determinada manera. Las variaciones en el comportamiento pueden registrarse según las marcas que quedan".

Además, a través del estudio de las icnitas (huella o marca, en griego) es posible inferir ciertos parámetros del entorno que no se pueden determinar de otra manera. En efecto, las trazas fósiles pueden indicar si una superficie que era fondo marino quedó expuesta, si la oxigenación era alta o baja, si el oleaje era intenso, si había disponibilidad de alimento o éste escaseaba.

"Las icnitas dan cuenta de las condiciones del lugar en el momento en que se produjeron. Es como una fotografía de ese instante", destaca Pazos.

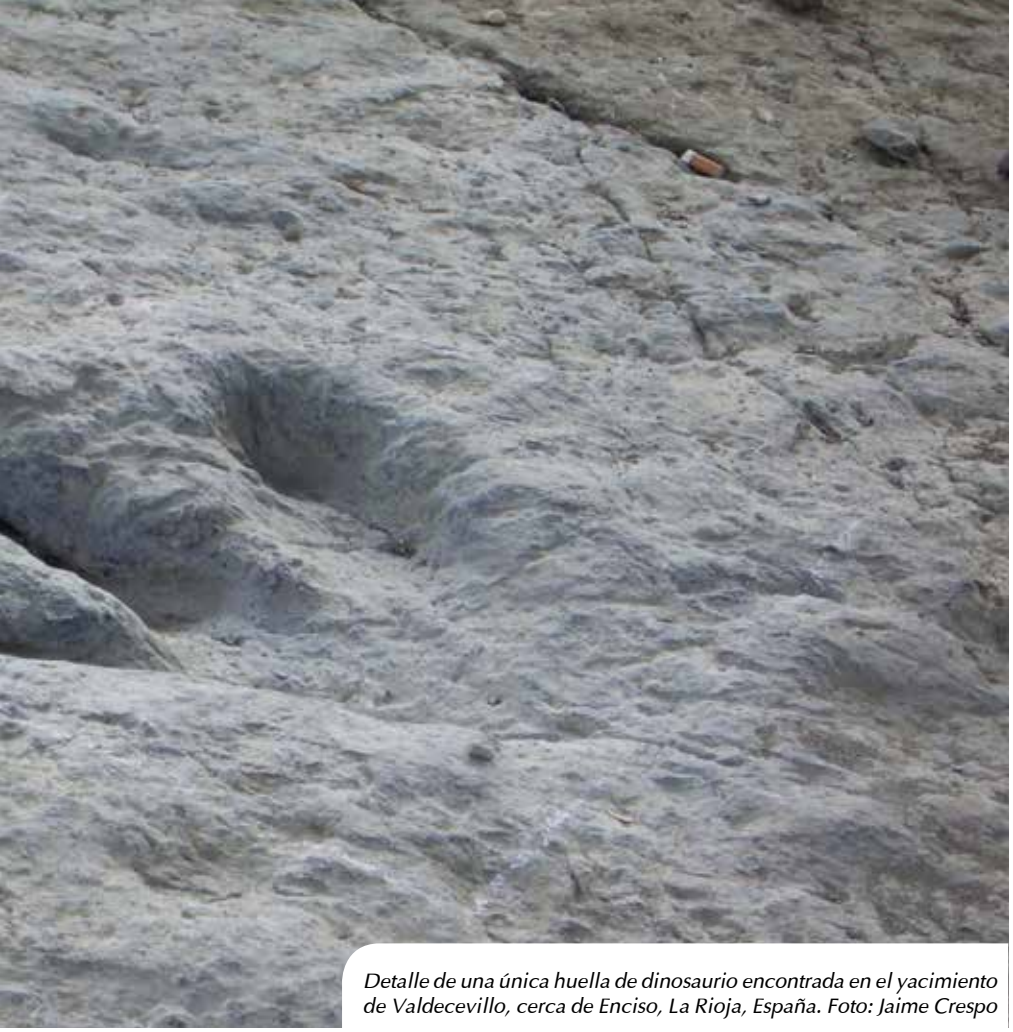
Muchas veces, una huella es el único rastro dejado por un organismo, pues sus restos fósiles no pudieron conservarse. Así, es posible encontrar pisadas de dinosaurios en lugares donde nunca se encontraron los huesos de estos animales, porque las condiciones para la preservación no eran las óptimas.

En el fondo del mar, con una ausencia casi total de oxígeno, puede suceder que se encuentre la huella de algún organismo que tenía la capacidad de vivir con muy bajos niveles de oxígeno. Es decir, que se tendrá una evidencia directa de vida en un lugar donde no se esperaría hallarla, y donde no se encuentren tampoco restos fósiles.

No siempre es posible asegurar que tal huella haya pertenecido a un organismo determinado. "Con las trazas de vertebrados es más fácil que con las de los invertebrados", comenta Pazos. En el caso de invertebrados, distintos organismos pueden dejar la misma traza.

### Como una foto

En una icnita muy bien preservada, pueden identificarse, por ejemplo, las antenas y los apéndices de un invertebrado y sus características. También, se puede inferir el tipo de desplazamiento del organismo, si fue continuo o a saltos. Esa información se combina con el



*Detalle de una única huella de dinosaurio encontrada en el yacimiento de Valdecevillo, cerca de Enciso, La Rioja, España. Foto: Jaime Crespo*

estudio de las características de la roca, y se obtiene una "foto" de un ecosistema del pasado. "Si estudio sólo las rocas, me estoy perdiendo parte de la información. Si solo miro la icnología sin analizar el contexto geológico donde se encontraron esas trazas, puedo cometer errores en la interpretación", reflexiona Pazos.

La icnología comenzó su desarrollo siendo sólo una herramienta para los paleontólogos. Sin embargo, para Pazos, "en los últimos cincuenta años se ha avanzado lo suficiente como para decir que se ha constituido en una entidad propia, incluso se han desarrollado subdisciplinas, que estudian aspectos muy específicos".

La conservación de una huella está determinada por diferentes factores. Por un lado, las características del sustrato, por ejemplo, la presencia de arcillas con determinada plasticidad. Otro factor que puede contribuir, según una hipótesis, es el desarrollo de una fina capa de microorganismos, que funcionaría como una lámina que calca las marcas "dibujadas" en la superficie. La posibilidad de preservación de una huella sobre una superficie aumenta si se forma sobre ella una carpeta o tapete microbiano *(microbial mat)*.

No son lo mismo las trazas que se producen en ambientes donde hay mucho oleaje y mucha energía, que las que se generan en ambientes mareales donde hay mezcla de sedimentos, tapetes microbianos y material arcilloso. Se pueden encontrar huellas que se formaron entre una marea y otra, y así se obtiene una foto de lo que aconteció a lo largo de doce horas.

## También en 3D

Hay trazas que se producen en una superficie plana, pero hay otras que se generan en las tres dimensiones. En el caso de los seres humanos, si una persona está caminando, y a la vez comiendo y charlando, lo único que va a quedar registrado en la superficie es la pisada. Pero "si se trata de un animal invertebrado que vive dentro del sustrato, que puede estar desplazándose, respirando por los sifones, defecando y comiendo, todo a lo largo del recorrido, las huellas de cada una de esas conductas pueden quedar registradas. Para ello hay que integrar la información como un rompecabezas, información que la roca no siempre entrega toda junta", dice el investigador.

Los rastros de los invertebrados son menos espectaculares que una huella

## CAMINATA DE DINOSAURIOS POR LA ORILLA

Hace casi 130 millones de años, los dinosaurios podían pasearse por la costa de un mar poco profundo, en la provincia de Neuquén, en las cercanías de Chos Malal. ¿La prueba? Numerosas pisadas, de 25 a 30 centímetros de largo, que indican que se trataba de animales de mediano porte, de unos tres metros de altura. Las huellas son tridáctilas y denotan un andar bípedo; se trataba de animales que caminaban erguidos en dos patas. Además, las garras aguzadas señalan que eran dinosaurios carnívoros.

A partir de esas huellas, los investigadores pudieron reconstruir la geología de la zona, cambiando la perspectiva que se tenía previamente. Así lo explican en un reciente artículo publicado en la revista *Gondwana Research*, firmado por Pablo Pazos, junto con Darío Lazo, Beatriz Aguirre-Urreta y Claudia Marsicano.

Si bien se sabía que la zona estudiada (la cuenca del río Agrio, en el noroeste de la provincia de Neuquén) estaba bañada por las aguas ingresantes del paleopacífico, se creía que esa zona constituía un área marina profunda. Sin embargo, a partir de esas huellas, los investigadores pudieron determinar que el lugar era un mar poco profundo, con zonas que podían, de tanto en tanto, quedar al descubierto, y desecarse.

Los fósiles típicos de un fondo marino son los moluscos, como los amonites o los bivalvos. Pero esa zona carecía de esos fósiles. En la búsqueda de una explicación, los investigadores encontraron las pisadas. "Estas huellas hablan de una zona costera, sometida a mareas y muy poco profunda, muy estresante para muchos organismos e inhabitable para otros", indica Pazos, que estudia las rocas sedimentarias, para determinar el ambiente y sus cambios en el tiempo.

El estudio de las trazas y las rocas sedimentarias permitió determinar que los animales se desplazaban a lo largo de la orilla. "Las huellas encontradas modificaron totalmente el concepto que se tenía de esa área e invita a la confección de nuevos mapas, muy útiles en la industria petrolera", destaca Pablo Pazos.

Foto: Pazos y Fernández (2010). Acta Geológica Polónica.

## HUELLAS EN LA PLAYA

Pisadas de dinosaurios terópodos en rocas carbonáticas de la Formación Agrio de la Cuenca Neuquina. El hallazgo de las huellas confirma que esa zona estuvo expuesta hace aproximadamente 130 millones de años y, además, indica que estos dinosaurios se desplazaban paralelamente a la línea de costa, teniendo en cuenta las microondulaciones que se observan en la superficie y que son producidas por el oleaje. La superficie muestra que hay huellas anteriores y posteriores al oleaje costero. Sin embargo estudios microscópicos de la roca no dejan dudas que se trataba de sedimentos marinos que fueron expuestos y que permitieron las caminatas de los dinosaurios.

de dinosaurio, pero su hallazgo permitió conocer, por ejemplo, un grupo de bivalvos que no estaban representados en el registro paleontológico de la Cuenca Neuquina. "La traza tiene una determinada característica que indica que los sifones con los que respiraban estaban juntos, mientras que el resto de bivalvos que se han encontrado no tienen esa particularidad. A través de la traza se puede saber que esos bivalvos tan particulares existieron, teniendo en cuenta que no se han conservado sus restos fósiles", dice Pazos.

### La marca del diente

Si bien las improntas de las hojas de los árboles dejadas en la roca no se consideran como icnitas porque, por sí solas no dan cuenta de un comportamiento, si esa hoja tiene la marca de un herbívoro que intentó devorarla, estamos, sin duda, en presencia de una icnita. "Si las hojas tienen trazas de haber sido mordidas, por ejemplo, por hormigas o larvas, esas huellas dan información acerca de las condiciones de esa comunidad, porque no será posible hallar a esas hormigas o esos parásitos", explica.

Si se encuentra un hueso fósil, pero a su vez ese hueso tiene la marca de los colmillos de otro animal, se trata de una icnita. El hueso en sí no lo es, pero sí lo es la marca del colmillo, que indica que el animal fue presa de otro.

Asimismo, los coprolitos, que son el resultado de la mineralización de excrementos humanos o animales, constituyen un resto fósil, pero también indican un comportamiento, un proceso biológico. También la construcción de nidos constituye la huella de un comportamiento.

Las aplicaciones de la icnología son múltiples. De hecho, también brinda información relevante en la exploración de petróleo, pues puede dar cuenta de las características de los sedimentos. "Cuando se extrae un testigo de perforación petrolera, uno necesita analizar la información icnológica", describe Pazos.

En resumen, las huellas brindan información desde el punto de vista geológico, porque permiten reconstruir el entorno ambiental del momento en que se produjeron, y también llenan baches en el conocimiento desde el punto de vista paleontológico, porque hacen posible conocer qué organismos vivieron en un momento determinado, aunque sus restos fósiles nunca se hayan encontrado. El estudio de las icnitas abre un campo fascinante en el conocimiento del pasado lejano, y hace posible tener la película completa.

## Proyecto de patrimonio mundial

# El camino del Malacara

*Juan Pablo Vittori - juan.vittori@de.fcen.uba.ar*
*Fotos: Corina Risso*

A 50 km de Malargüe, en la provincia de Mendoza, se encuentra el volcán Malacara. Es uno de los más importantes de un paraje minado de volcanes que tiene serias posibilidades de ser inscripto en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO.

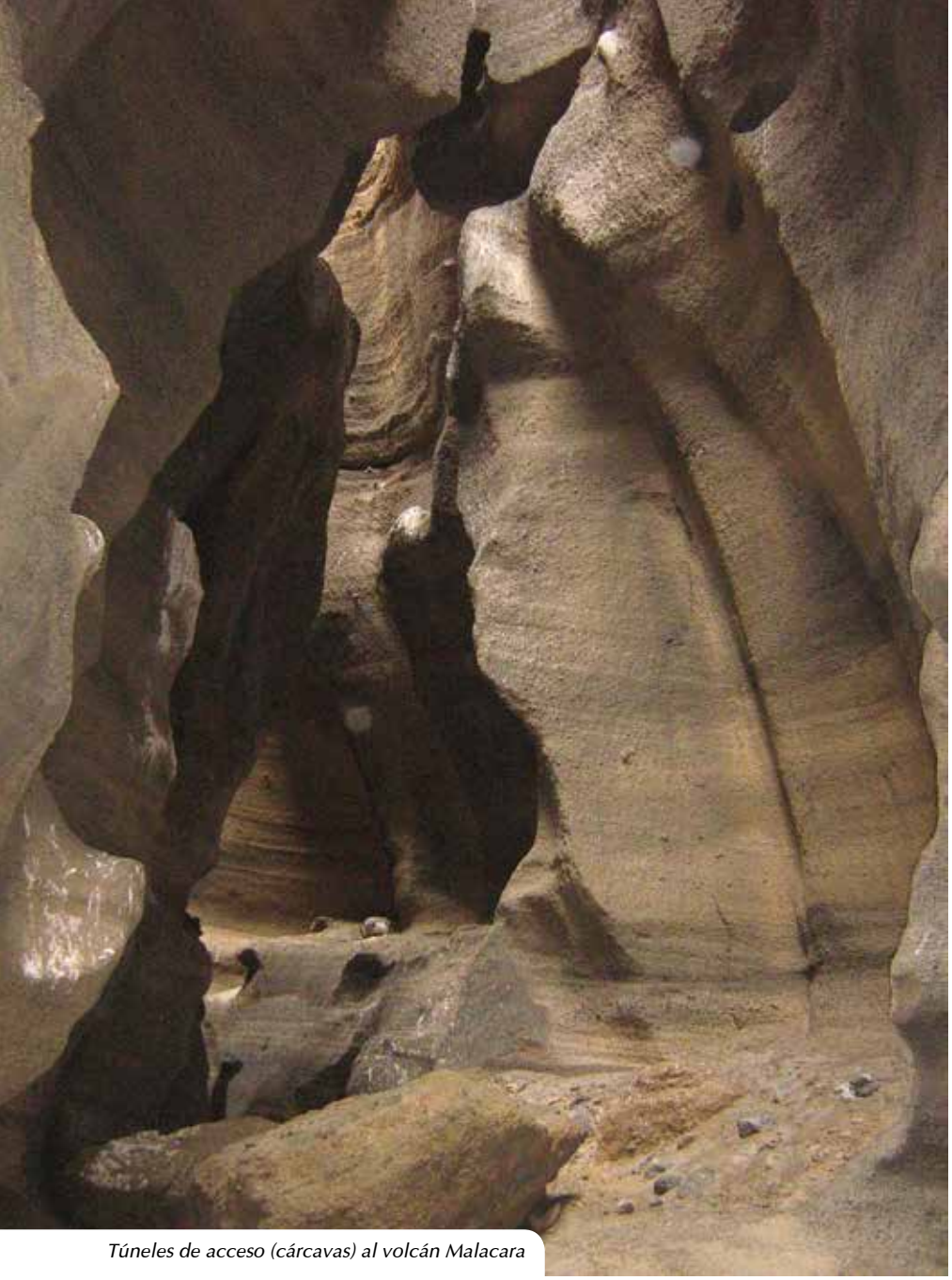
Es una calurosa tarde de 2000, en un desértico paraje de la provincia de Mendoza. No muchos han transitado por esa zona en años y algunos lugareños lo conocen como "aquel lugar adonde llevar a pastar a los chivos", pero ellos no saben, realmente, lo que tienen enfrente. La geóloga Corina Risso sí lo sabe, lo acaba de descubrir. Un poco shokeada, se sienta en una piedra junto a su marido y se preguntan: "¿Qué hacemos con esto? ¿Lo decimos o no lo decimos?". Lo que tienen enfrente, y que miran maravillados, es un volcán. Uno que nadie había detectado hasta ese momento. Hoy, varios años después, el volcán Malacara (de él hablamos) es uno de los principales sitios turísticos de la zona de Malargüe, al sur de la provincia de Mendoza. Por lo tanto, asumimos que la respuesta a esa pregunta inicial, fue: "Lo damos a conocer".

¿Y por qué aquellas dudas iniciales? Bueno, "uno siempre tiene la idea de que el turismo te destruye las cosas, y eso era tan prístino, tan hermoso..." dice Risso, geóloga del Departamento de Geología de Exactas-UBA, quien trabaja desde hace más de veinte años con volcanes. Pero más allá de esa hermosura, la importancia de la zona está en la diversidad. Al sur del Departamento de Malargüe, se extiende este gran distrito volcánico de 36.000 $Km^2$ en el que hay actualmente dos *Áreas naturales protegidas*: la laguna de Llancanelo y la Payunia. Así lo describe Risso: "En un libro de volcanología uno puede ver que hay distintos tipos de volcanes y distintos tipos de productos volcánicos, bueno, todo eso está en la Payunia. Depende de dónde vayas, tenés los grandes volcanes, como el Payún Liso; las grandes calderas, como la del Payún Matru; los volcancitos chiquitos como Los Morados y, además, están los volcanes hidromagmáticos, como el Malacara. Y también tenés todos los tipos de productos que produce el volcanismo y lo que sale por el aire: lavas básicas basálticas, lavas ácidas traquíticas, depósitos de flujo piroclástico, están los campos de bombas y los flujos de lava negros. Lo maravilloso es que en pocos kilómetros podés hacer una clase completa de volcanología porque lo que vas mostrando está todo junto".

### En busca de la roca amarilla

Hasta el año 98, Risso investigó volcanes en la Antártida y luego se dedicó a investigar volcanes de tipo hidromagmático en el resto de la Argentina. Así es como llegó a Mendoza adonde nadie había estudiado eso específicamente. "Eran cerros. Cuando yo empecé a trabajar, todos estos eran, para la gente

*Volcán Malacara*



*Túneles de acceso (cárcavas) al volcán Malacara*

del lugar, cerros. Empecé a decir que eran volcanes y me miraban entre impresionados y descreídos. Hoy se sabe que hay 865 volcanes", cuenta Risso. Los volcanes hidromagmáticos tienen una característica especial (Ver infografía), durante el proceso de erupción se encuentran con una capa freática (de agua subterránea) con lo cual la primera etapa de la formación es hidromagmática (una fusión de lava y agua), lo que multiplica la violencia del proceso, y forma depósitos de color amarillo, los últimos depósitos se quedan sin agua, y son de color negro. La zona de Malargüe, particularmente, no es muy lluviosa, pero cuando llueve, llueve mucho, ya que posee un régimen de inviernos secos e intensas lluvias estivales, y eso ayudó al primer descubimiento. La erosión de estas lluvias en los depósitos hidromagmáticos que son más lábiles que la lava fue descubriendo la roca amarilla. "Yo venía buscando algo amarillo, además todos los científicos buscamos bibliografía previa, y el geólogo que hizo la descripción de esta zona hace 50 años, hizo un comentario de unas piedras amarillas, y cuando vos sabés lo que estás buscando...", comenta Risso, que sabía que esa era la señal inequívoca que confirmaba su descubrimiento. También es posible que haya habido un terremoto en esa zona, porque hay un lado del volcán que está desmoronado. Esos depósitos de lava desmoronados y luego erosionados por el viento forman unos túneles de acceso (llamados cárcavas) que hoy forman parte de los recorridos turísticos y que configuran un paisaje único en el Malacara (cuyo nombre hace referencia a un tipo de caballo de cara manchada) que despertó el interés de los investigadores primero, y después de la Provincia por su potencialidad turística.

## AQUÍ ESTÁN, ESTO SON...

A la fecha, la lista con los sitios declarados como Patrimonio de la Humanidad asciende a 962, divididos en culturales (745), naturales (188) y mixtos (29), y ratificó la Convención de Patrimonio mundial un total de 189 Estados parte. Para ser incluído en la lista de Patrimonio un sitio debe tener un valor universal excepcional y cumplir con, por lo menos, uno de los criterios establecidos por la Convención. En el caso de los Campos volcánicos, están justificados por los criterios 7 y 8 que dicen lo siguiente:

**7.** Representar fenómenos naturales o áreas de belleza natural e importancia estética excepcional.

**8.** Ser un ejemplo eminentemente representativo de las grandes fases de la historia de la Tierra, incluido el testimonio de la vida, de procesos geológicos en curso en la evolución de las formas terrestres o de elementos geomórficos o fisiográficos.

**La Argentina tiene en esa lista los siguientes sitios:**

**CULTURALES**

- Cueva de las manos
- Misiones Jesuíticas y Estancias de Córdoba
- Misiones Jesuíticas de los Guaraníes
- Quebrada de Humahuaca

**NATURALES**

- Parque Nacional Iguazú
- Parques Naturales Ischigualasto / Talampaya
- Parque Nacional Los Glaciares
- Península Valdés

**Y están incluídos en la lista tentativa:**

- Parque Nacional Los Alerces
- Campos Volcánicos Llancanelo y Payun Matru, Distrito Payunia
- Casa Curutchet
- Parque Nacional Sierra de las Quijadas
- Sistema Vial Andino / Qhapaq Ñan
- Valle Calchaquí

*Mapa con la ubicación de los sitios declarados como Patrimonio Mundial por la UNESCO*

## ESQUEMA DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL MAGMA ASCENDENTE Y UNA CAPA FREÁTICA

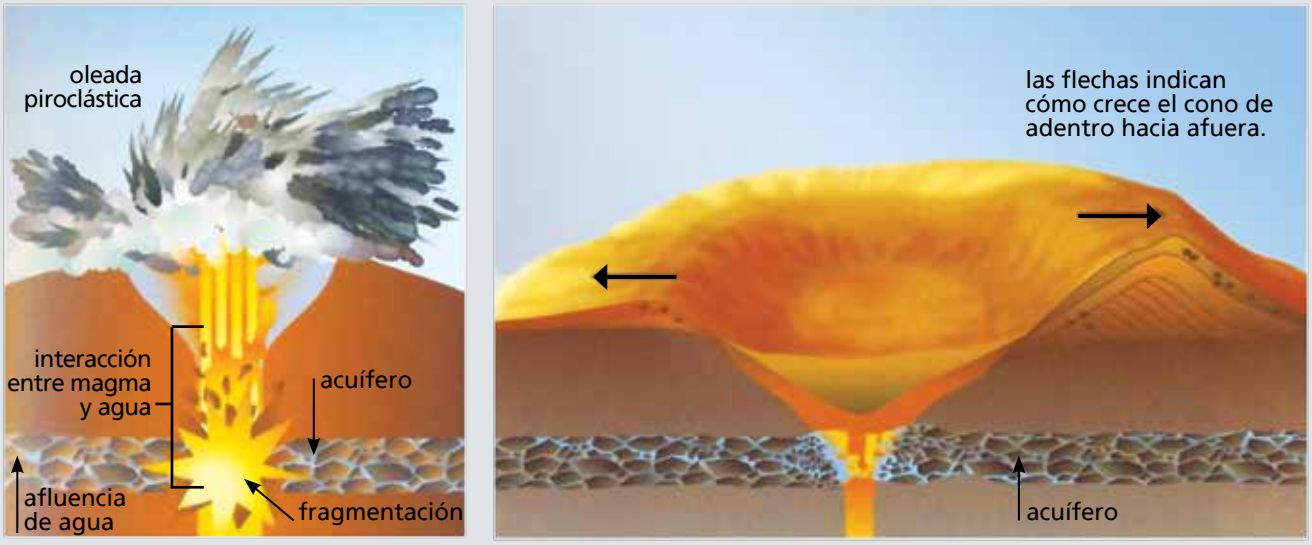



Imagen recreada a partir de un gráfico de: VOLCANISM, H. U. Schmincke, Springer, 2004.

### Patrimonio de la comunidad

El final de la historia ya lo conocemos, el volcán fue dado a conocer y hoy es parte de la oferta turística de Malargüe. Pero la insistencia de Risso, junto al doctor Eduardo Llambías (de la Universidad Nacional de La Plata), basados en la belleza y el interés científico de toda la zona de los campos volcánicos Llancanelo, Payun Matru y Distrito Payunia motivó a que la provincia de Mendoza, a través de la intendencia de Malargüe y la Secretaría de Recursos Naturales de la Provincia, comenzara a pensar, y luego a gestionar, la inclusión de todo el territorio en la Lista Indicativa Nacional de aquellos sitios con potencialidad para ser declarados Patrimonio Mundial por la UNESCO. Éste es el listado de aquellos bienes que el Estado reconoce con un valor universal excepcional, y planea en el mediano plazo presentar a la lista de Patrimonio Mundial. Este proceso, más allá de la voluntad y las buenas intenciones, es largo e involucra a muchos actores. La puesta en valor de un sitio se logra transitando ese camino, como lo explica Florencia Noya Dive, de la Comisión Nacional de Cooperación con la UNESCO (CONAPLU): "La inscripción de un sitio es como si fuera la cereza del postre de todo un proceso, y la riqueza está *en* ese proceso, porque implica la puesta en valor del sitio, el reconocimiento de la propia comunidad de los valores que tiene, y la implementación de un plan de gestión y de protección para asegurar que esos valores van a ser conservados y preservados para generaciones futuras".

En ese proceso se encuentra actualmente la provincia, como cuenta Jorge Fernández, a cargo de la Unidad Técnica de la delegación Malargüe de la Dirección Natural de Recursos Naturales renovables: "Lo estamos canalizando a través de la Municipalidad de Malargüe, nos hemos apoyado en documentación de la UNESCO, en la redPEA (red de Escuelas Asociadas de la UNESCO), y estamos bajando una serie de materiales didácticos a los establecimientos escolares de la zona rural, como también en el ejido urbano del territorio que nosotros estamos proponiendo jerarquizar. Y también forma parte de este comité de gestión local una comunidad de identidad territorial, porque hay también algunas comunidades mapuches en torno al bien", comenta Fernandez, quien es, también, el ente vinculante en este proyecto entre la Municipalidad de Malargüe, la Provincia y la Dirección de Recursos Naturales de la provincia, y continúa: "El proceso está siendo en este momento muy participativo, bien abarcativo. Se ha incorporado a guardaparques que eran originarios de la zona, baqueanos que hemos incluído dentro del sistema, brigadistas de incendio. Hay una tendencia linda, interesante; esto la gente lo está observando, entonces están muy permeables".

Hoy, la Provincia ya dio el primer paso, presentar la justificación del pedido, donde se explica por qué se cree que ese sitio tiene un valor universal excepcional. Pero eso es apenas el corazón del gran trabajo que queda por delante, y que es el *dossier* de nominación. El concepto mismo de *Valor universal excepcional* tiene una explicación teórica: "Este concepto refiere a los términos de la Convención de Patrimonio mundial. Puede ser que haya muchos sitios que tengan un patrimonio natural o cultural muy valioso para su comunidad, o a nivel nacional, pero no necesariamente sean Patrimonio Mundial. El valor universal excepcional se justifica por una serie de criterios, en este caso, Payunia está presentado bajo los criterios 7 y 8 de la Convención (Ver recuadro Aquí están...)", aclara Noya Dive, quien visitó los campos volcánicos junto al Coordinador de Patrimonio Mundial y Cultural por Parques Nacionales, Roberto Molinari, para asesorar a los miembros de la comunidad de Malargüe sobre los pasos necesarios para elaborar el *dossier* de nominación, adonde conocieron a los geólogos Risso y Llambías que les dieron una perspectiva desde el punto de vista científico. Para la Provincia es una distinción más que esperan con orgullo, como cuenta Fernández: "Es un galardón más para Mendoza, para Argentina y, obviamente, para el Departamento de Malargüe. Si bien Mendoza tiene toda una historia y una trayectoria desde el punto de vista de la conservación muy importante, para nosotros poder jerarquizar dos sitios de areas naturales protegidas es todo un logro, es el sueño del pibe, de jugar en primera.

Mientras la Provincia hace esfuerzos para cumplir ese sueño, está transitando por ese proceso largo y complejo que implica la realización del *dossier*, matizando las ilusiones con mucha perseverancia y algo de paciencia. El camino es largo, pero todos los actores involucrados están enfocados en un objetivo que ha logrado, hasta ahora, superar políticas que buscan réditos rápidos, y reemplazarlas por metas de largo plazo.

# enterate
# conocé
# descubrí

**noticias.exactas.uba.ar**

el servicio de información científica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

# Recomendaciones en Internet

## http://xkcd.com/

xkcd. Humor nerd. Es un webcómic sobre romance, sarcasmo, matemáticas y tiene el lenguaje más desopilante de internet. Más de una centena de tiras cómicas frikkis en inglés y en español. Creación de Randall Munroe, un físico de Massachusetts que en el mismo sitio nos regala What if? (contestando su pregunta hipotética todos los jueves), una divertidísima colección de situaciones hipotéticas y preguntas descabelladas analizadas con sorprendente maestría científica y respuestas increíbles.

## http://aparrella.wordpress.com/

Este blog está pensado y creado con la finalidad de agilizar el acceso de los estudiantes a los materiales necesarios para poder seguir el curso de física y compartir lo que vuela por ahí relacionado con la enseñanza. Creación del profesor Alejandro Parrella, de Maldonado Uruguay.

## http://www.youtube.com/user/Krisangel23GodlessTv

Krisangel23x1MundoSinDioses 2. En este sitio se publican videos de Ateísmo, Ciencia, Racionalismo, Humanismo Secular, Derechos Humanos, Fanatismo Religioso y otros. Los videos en inglés aparecen subtitulados al español. La colección es amplia y variada. Con cada video puede surgir una interesante clase de discusión.

## http://www.ciencianet.com/

La ciencia es divertida. CIENCIAnet es un lugar donde se puede encontrar información sobre aspectos curiosos, divertidos, sorprendentes y extraños de la Ciencia. Hay preguntas, chismes, chistes, experimentos, citas, exámenes y una riquísima miscelánea dedicada a la ciencia. Creación de Antonio Varela, profesor de física y química en el IES Xosé Neira Vilas de Perillo, La Coruña, España. Está online desde febrero de 1997.

## http://curiosoperoinutil.com/

Curioso pero inútil. CPI es una página que quiere acercar la ciencia a sus lectores. Dedicado a la física, las matemáticas, el espacio, el escepticismo, la música, la lectura, las leyendas urbanas, las paradojas y rompecabezas lógicos, la informática y a todo lo que les llama la atención. Creación de Remo y Patxi desde agosto de 2004.

## http://www.fisicarecreativa.com/

Física recreativa, por Salvador Gil y Eduardo Rodríguez. En este sitio se ofrece un conjunto de proyectos experimentales que pretenden estimular la curiosidad y creatividad de los estudiantes y docentes de física. En ellos se trata de preservar el carácter lúdico de esta aventura del pensamiento. También se proveen vínculos a sitios de interés para docentes y aficionados a la física y las ciencias en general.

## Las lecciones del Maestro Ciruela

# Eso ya lo dije

*Ricardo Cabrera*
*ricuti@qi.fcen.uba.ar*

Tengo colegas que se molestan mucho cuando un estudiante les hace una pregunta sobre un tema que ya explicaron, una respuesta que ya dieron. Tal vez no repararon en que la repetición es uno de los pilares del aprendizaje. Casi nunca se aprende algo de una vez y para siempre luego de haberlo escuchado. Los conceptos deben abrirse camino entre un sinnúmero de relaciones causales estacionadas mal o bien en nuestras cabezas. Es a fuerza de repetir los intentos, afianzar las nuevas relaciones, volver una y otra vez a transitar los mismos razonamientos, que los nuevos mecanismos se afianzan, se aprenden.

Otros colegas, pero muy pocos, comprenden la necesidad y responden la pregunta de buena gana... pero evitan poner en evidencia que eso ya lo habían explicado, que ya lo habían respondido (si se trataba de una pregunta reiterada). Les resulta natural la idea de la repetición, pero les da cosa (¿vergüenza ajena?) dejar en orsai al estudiante que pregunta lo mismo por enésima vez. Ellos también hacen mal: el anuncio de que "eso ya lo expliqué" es saludable. Le permite al estudiante una rápida ubicación del asunto. Uno nunca escucha la segunda explicación del mismo modo que la primera. La segunda es más rica, se nutre de más relaciones, consecuencias y matices que el mismo concepto escuchado la primera vez. Y el buen explicador sabe aprovechar ese nuevo ambiente en el que la respuesta reiterada se produce.

Por último... el estudiante repreguntador tiene una buena oportunidad de mensurar el tamaño de su venganza en el examen final, colega, por no haberle prestado atención. Que se prepare. Evitar sorpresas no es poca cosa.

## HUMOR por Daniel Paz

# ¿Por qué, mientras dormimos, los mosquitos zumban en nuestras orejas?

**Responde el doctor Nicolás Schweigmann, director del Grupo de Estudio de Mosquitos, del Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Exactas-UBA.**

Ese zumbido tan molesto que escuchamos a la noche cuando nos acostamos y apagamos la luz es una consecuencia de la forma de volar del mosquito. Como sus alas son relativamente pequeñas, necesitan agitarlas con rapidez para lograr suficiente sustentación en el aire.

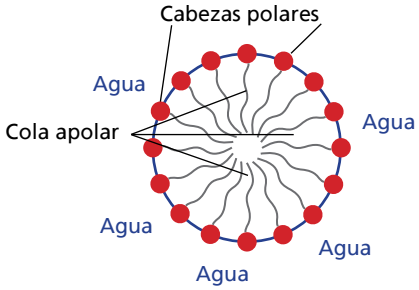
El hecho es que los mosquitos son atraídos por el dióxido de carbono que exhalamos mientras respiramos. El gradiente de la concentración de este compuesto en el aire sirve de guía para que algunas especies de mosquitos puedan detectarnos en la oscuridad de la noche. En Buenos Aires, la especie de mosquito que nos pica de noche (*Culex pipiens*) vuela alrededor de nuestra cabeza porque está siguiendo el gradiente de dióxido de carbono que emitimos por la boca. El insecto se mueve en absoluta oscuridad y se orienta por el calor del cuerpo y por el gradiente de dióxido de carbono. No necesita balizas ni radares.

Otras claves de la atracción previa a la picadura son la temperatura corporal y el ácido láctico de nuestra transpiración. Seguramente las personas que tienen mayor temperatura corporal (por hacer ejercicio o por alguna otra razón fisiológica) atraen más a los mosquitos que otras cuya piel se encuentra más fresca. Algo similar ocurre con la transpiración, que contiene ácido láctico (típico factor de atracción).

Una remera transpirada puede usarse con trampas de luz para atraer mosquitos. Si uno llega a su casa luego de correr o hacer ejercicio y, por ejemplo, se sienta a tomar mate, seguramente va a atraer mucho más a los mosquitos que aquella persona que llegó, se pegó un baño y se perfumó. Los perfumes operan como repelentes.

En la pampa húmeda, zona muy productora de mosquitos de la especie *Ochlerotatus albifasciatus*, los gauchos, para espantarlos, por un lado, quemaban bosta y, por otro, ataban un par de vacas a un árbol y se iban a dormir. Las vacas, con más masa corporal que el hombre, producen más calor y más ácido láctico. Es decir, los gauchos engañaban a los mosquitos para que fueran a picar a las vacas.

# ¿Por qué el detergente remueve la grasa?




**Responde la doctora Marta Maier, del Departamento de Química Orgánica, Exactas-UBA.**

La acción limpiadora sobre las grasas que ejercen los jabones y detergentes reside en la estructura de sus moléculas, que contienen una parte que es soluble en grasa y otra que es soluble en el agua.

Los jabones se fabrican a partir de la grasa animal o vegetal, mediante un proceso químico denominado "saponificación". Por un tratamiento en un medio alcalino, la molécula de grasa se rompe en dos partes: por un lado, el glicerol o glicerina y, por el otro, los ácidos grasos, que se transforman en sales de sodio o potasio, según la sustancia cáustica empleada en el proceso.

Esas sales son las que tienen el poder limpiador. Su molécula posee una cabeza polar, que es afín al agua, y una cadena larga de 14 a 18 átomos de carbono, que conforman la parte no polar de la molécula. Esta parte no polar tiene afinidad con las grasas y los aceites, que tienen baja polaridad. La polaridad química es una propiedad de las moléculas relacionada con la separación de cargas eléctricas, y las moléculas polares se atraen mutuamente. La molécula de agua tiene esa característica, por ello atrae a otras con la misma propiedad.

Ahora bien, en el jabón, la clave reside en la forma en que se disponen sus moléculas, que forman micelas. En esta estructura globular, las moléculas se ubican en forma radial, con la parte polar hacia afuera, en contacto con el agua. En la parte interna, se disponen las cadenas largas, que son la parte no polar (Ver gráfico). La grasa o las manchas de aceite, al tener afinidad con la parte no polar, quedan englobadas en las micelas y mantenidas en suspensión.

Los detergentes sintéticos emulan la estructura química del jabón. En un principio, los detergentes tenían ramificaciones en la cadena no polar, que no podían ser degradadas por las bacterias. Luego, con el fin de hacerlo biodegradable, se modificó la estructura de las moléculas, de manera que la cadena larga fuera lineal.

## AZAR, CIENCIA Y SOCIEDAD

Pablo M. Jacovkis y Roberto Perazzo
Buenos Aires, 2012
EUDEBA, 270 páginas

Este entretenido texto repasa la historia del azar en el pensamiento humano. Fue descubierto tempranamente por matemáticos, luego fue aceptado por la sociedad, más tarde entró en las ciencias de la vida, luego en la química, después en la física y finalmente en la economía. Pero no fue un derrotero lineal ni sencillo. El azar nunca le fue indiferente a la filosofía y la política. La religión nunca lo dejó de lado, y a Borges lo fascinaba.

Los autores reconocen en la obra borgiana su fuente última de inspiración para hacer este libro de prosa simple y asombrosamente lleno de referencias insospechadas: la noción del azar –molesto, enigmático, divertido, impredecible, predecible– se levanta como una pieza omnipresente en el desarrollo del pensamiento humano. Probabilidad, estadística, certeza, ignorancia, designio, destino son algunos de los conceptos que escoltan al azar en su derrotero intelectual.

Con la inclusión de apéndices matemáticos –cuyo salteado no altera la consistencia del relato– *Azar, Ciencia y Sociedad* abre un panorama tan atractivo como abarcativo, tan profundo como minucioso. Los autores –un matemático y un físico– desnudan un costado humanista poco habitual en profesionales de ciencias exactas. ¿Serán la vanguardia de la tercera cultura que reclamaba Charles P. Snow?

## EL GORILA INVISIBLE

**y otras maneras en que nuestra intuición nos engaña**

Christopher Chabris
Daniel Simons
Buenos Aires, 2011
Siglo veintiuno, 303 páginas

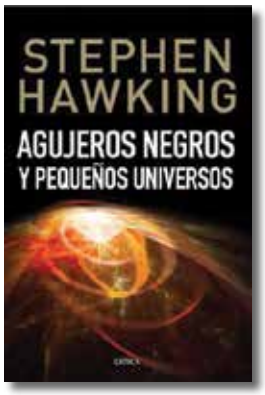
En medio de un video de un partido de básquet aparece un gorila, mira a la cámara, se golpea el pecho, levanta el pulgar y se retira de escena. Su pasaje dura 9 segundos. Aproximadamente la mitad de los espectadores del video no se percata de la presencia del intruso. Y cuando se les cuenta lo que vieron y se les vuelve a mostrar la película suponen que fueron engañados.

La clave poderosa de este libro no reside tanto en nuestras percepciones falsas o deficientes... sino en la confianza excesiva, o ingenua, que tenemos respecto de ellas. Al punto de que nos cuesta creer que nuestras percepciones nos hayan fallado. Son dos cuestiones independientes que forman un cóctel (a menudo) explosivo.

Los autores, psicólogos experimentales de extensa y brillante trayectoria, organizan el texto en cinco rubros: ceguera por falta de atención, ceguera frente al cambio, confianza en la memoria, confianza en el conocimiento e ilusión de la causalidad. No sólo hay descripción: las explicaciones sobre estos hechos increíbles revela una inteligencia muy aguda y el poder de la psicología cognitiva. Escrito con mucho humor y rigor científico, los autores proponen un rosario de anécdotas atrapantes que hacen de El gorila invisible un libro entretenido y aleccionador.

## AGUJEROS NEGROS Y PEQUEÑOS UNIVERSOS

Stephen Hawking
Buenos Aires, 2011
Editorial Crítica, 196 pág




Como si fuera un mismísimo agujero negro, Stephen Hawking puede despertar temor, incertidumbre, fascinación. Sus libros suelen apuntar a un público amplio, pero muchas veces dejó pagando a legos y no tanto al tomar el camino más abstracto y complejo posible. Los laureles académicos de Hawking son el emergente de su producción científica, de sus aportes a la física teórica, y sus libros, en cambio, son la contracara: representan al científico decidido a popularizar el conocimiento. En el caso de "Agujeros negros y pequeños universos", este físico de Oxford revela que el tema lo motiva desde hace muchos años, ya que consiste en una recopilación de artículos sobre que abarcan desde 1976 a 1992.

Quien espere novedades sobre cosmología no las va a tener, "Agujeros negros..." no es un libro que se sostenga en la "noticia" científica (de hecho, el último artículo tiene 10 años de antigüedad). Quienes tengan interés de saberes conceptuales y quieran deleitarse con algunas especulaciones sobre el futuro de la investigación sobre estos objetos celestes que despiertan tanta curiosidad, sí van a encontrar lo que buscan. "Todo lo que usted siempre quiso saber sobre agujeros negros" no hubiera sido un mal título.

"Agujeros negros..." es, más que nada, un racconto en el que el autor pretende indagar por qué lo seduce tanto el tema. En algún sentido, es casi una autobiografía temática y parcial de uno de los físicos qué más presencia le dio a saberes pocas veces accesibles al gran público.

# Anacronismo versus diacronismo en la historia de la ciencia

*Guillermo Boido / Olimpia Lombardi*

En una nota a pie de página de *La estructura de las revoluciones científicas,* Thomas Kuhn menciona la dificultad de enseñar historia de la ciencia a quienes provienen de las ciencias naturales: puesto que ellos "conocen las respuestas correctas", es particularmente difícil hacerles analizar la ciencia del pasado en sus propios términos. En un célebre libro de 1951, Herbert Butterfield llamó *whig* a este enfoque anacrónico de la historia, inaugurando una polémica que aún no ha cesado.

Quienes, en el siglo XIX, redactaron la historia de Inglaterra desde la perspectiva *whig*, concibieron la "conquista de la libertad" como un proceso acumulativo que se remonta a la Carta Magna de 1215 y adquiere su mayor significación en el siglo XVII, cuando los adherentes al partido *whig* eran considerados amantes de la libertad, y sus adversarios, los *tories*, enemigos de ella. La mayoría de las "historias patrias" adoptan este esquema simplista y lo consagran como mito.

Según Butterfield, quien se apropió de ese término de la historia tradicional inglesa, la historiografía *whig* (lineal, anacrónica) es "la escritura ahistórica de la historia": se imponen al pasado los patrones del presente. Así, en el marco de una historia de la ciencia de carácter *whig*, se evalúa la ciencia pretérita con referencia a la actual. Este criterio, fuertemente afín a una concepción de progreso científico acumulativo, característica del positivismo, expulsará de la historia de la ciencia a las teorías que resultaron "erróneas" a la luz de la ciencia posterior, salvo que se las analice para señalar lo retrógrado de quienes las sostuvieron o el mérito de quienes las rechazaron. Desechará, además, los factores que hoy consideramos no científicos o irracionales. Dado que aun científicos de gran talla, consagrados por la historiografía *whig,* cayeron en tales "errores", se los ignorará atribuyéndolos a momentáneos deslices del genio. La teoría de las mareas de Galileo o los intereses alquímicos y teológicos de Newton serían ejemplos de tales deslices.

Las historias *whig* transmitidas a través de textos y enseñanzas profesionales legitiman la actividad científica por invocación al prestigio de figuras e instituciones patriarcales. El carácter mítico, ejemplar, de estas historias se transfiere a la educación general y a la divulgación de la ciencia, y forma parte esencial de la identidad de cada comunidad científica.

Quienes repudian la historiografía *whig* proponen un ideal diacrónico. Escapar a la trampa *whig* presupone comportarse como un viajero del tiempo que, en la medida de lo posible, renuncia a su memoria histórica. Han de estudiarse los acontecimientos del pasado en términos del contexto de creencias, teorías, métodos, etcétera, vigentes en la época considerada. Deberá descartarse no sólo el conocimiento adquirido con posterioridad a la misma sino también aquel que no pudo ejercer influencia alguna sobre el agente histórico. Desde esta perspectiva anti-*whig*, importa más saber por qué Galileo pretendía la fama que saber por qué hoy es famoso.

Para el historiador *whig,* la ciencia tiene una existencia, al menos en forma latente, en toda época histórica, y en relación con ella pueden estimarse logros y fracasos. Pero esta valoración carece de sentido para la historiografía diacrónica, que prohíbe escribir la historia "hacia atrás". Esta podrá evaluar logros y fracasos sólo en relación con el contexto de la época en que acontecieron tales episodios.

El enfoque anti-*whig* ha dado lugar a numerosos estudios de una gran riqueza histórica. Estos trabajos han dotado a la historia de la ciencia de una razonable dosis de objetividad y han evitado el riesgo de convertir a la historia en un simulacro. Sin embargo, también debe reconocerse que un enfoque diacrónico estricto es utópico. Nadie escapa a su tiempo, ni a los "anteojos del presente" que le permiten acceder a una mirada histórica. Cabría preguntarse, además, hasta qué punto el diacronismo estricto, de ser posible, es deseable, ya que implica el riesgo de anticuarismo y de que el conocimiento histórico se vuelva inaccesible salvo para unos pocos especialistas.

En la actualidad, con la profesionalización de la historia de la ciencia, se aspira a brindar diferentes perspectivas acerca del pasado: afirmar la necesidad de adoptar *a priori* un enfoque único y excluyente para todos los casos se considera manifestación de un cierto dogmatismo. Para el historiador actual las visiones *whig* y anti-*whig* no son excluyentes, y el conflicto desaparece una vez determinada la naturaleza del problema histórico en estudio. Como sostiene el especialista danés Helge Kragh, el historiador de la ciencia ha de tener una bifronte cabeza de Jano capaz de respetar las ventajas y reconocer las limitaciones de ambos enfoques.

# Del arte de vivir bajo tierra

*José Sellés-Martínez - pepe@gl.fcen.uba.ar*

La arquitectura es un arte. La escultura es un arte. La pintura es un arte. ¿Pintar casas esculpidas en la piedra es tres veces un arte? A continuación veremos algunos ejemplos de cuadros que muestran edificios excavados en las rocas.

Nos encontramos con obras como *De unas ruinas nacen otras ruinas*, del mexicano Juan O´Gorman, *La ciudad de los inmortales*, del croata radicado en Mendoza Zdravko Ducmelic, y también obras como *Celdas difíciles*, *Ruinas* o *Fiordo* del cada día más valorado artista argentino Xul Solar (cuyo nombre verdadero es Oscar A. A. Schulz Solari).

*De unas ruinas nacen otras ruinas, J. O´Gorman*

La obra de Ducmelic, en la que muchas veces se representan arquitecturas labradas en la roca, fue muy apreciada por Jorge Luis Borges, e ilustra su libro *Laberintos*, en la edición de 1983.

Si bien las construcciones representadas en estas obras son en su mayor parte imaginarias, no lo es la existencia de las viviendas o poblaciones troglodíticas (la raíz griega del término significa "habitante de cavernas"). Por otra parte, aunque los artistas que han pintado estos cuadros son ampliamente conocidos, los arquitectos (si los hubo) o constructores de la mayoría de los espacios subterráneos a que se refiere esta nota son totalmente desconocidos.

*Celdas Difíciles, Xul Solar. Derechos reservados Fundación Pan Klub - Museo Xul Solar.*

Las casas son generalmente excavadas en sedimentos apenas consolidados o en rocas blandas, lo que muchas veces atenta contra la conservación de este tipo de viviendas. La ventaja más importante que presentan sobre las viviendas más tradicionales, es su aislamiento natural contra los cambios de temperatura del exterior (algo muy importante en las áreas donde las temperaturas alcanzan valores extremos).

A veces se trata de cavernas naturales modificadas, pero en muchos casos las viviendas, depósitos y hasta corrales, son excavados totalmente. Algunas casas pueden tener características mixtas, es decir, en parte se excavan en la roca y en parte se adiciona a su frente una construcción tradicional de mampuesto o de ladrillo.

Además de las viviendas troglodíticas existen también edificios de carácter público, como los templos, que han sido excavados total o parcialmente en el material rocoso. Las cuevas más famosas dedicadas al culto son posiblemente las de Ellora y las de Ajanta, en la India, excavadas en la roca basáltica de los Dekkan Traps. De gran interés, y también excavadas en basalto, son las iglesias de Lalibela, Etiopía.

Wikipedia/Jonathanawhite

*Entrada a uno de los templos de Ajanta, en la India.*

La Catedral de Sal en Zipaquirá, en Colombia, o las antiguas minas de sal de Wieliczka, en Polonia, son otros ejemplos de arquitectura subterránea, en este caso vinculada a la explotación del recurso salino, pero que el paso del tiempo convirtió en un atractivo turístico de gran interés. De gran atractivo son también los Sassi de Matera en Italia, que con sus viviendas habitadas desde tiempos paleolíticos hasta el siglo XX constituyen una de las construcciones troglodíticas más importantes del área mediterránea.

Otros ejemplos de pueblos labrados en la piedra se encuentran en Guádix y en Crevillente (España), Matmata (Túnez), Kandovan (Irán), Capadocia (Turquía), Rochemenier (Francia), y en la Meseta de Loess (China). En la Argentina existe un proyecto para construir una aldea con viviendas excavadas en la roca en la Patagonia.

Es importante señalar, para concluir, que una gran parte de los ejemplos mencionados se encuentran protegidos por leyes y muchos de ellos han sido incorporados a la lista del Patrimonio Mundial por la UNESCO.

# CIENTIFICOS
## INDUSTRIA ARGENTINA

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

**CON ADRIÁN PAENZA**

**SÁBADOS**
**11.30 Hs.**

tv.pública
www.canal7.com.ar

http://incubacen.exactas.uba.ar

# PRESENTATE AL LLAMADO INCUBACEN 2012!

incubacen

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

EXACTAS UBA