

# EXACTA

# mente

La revista de divulgación científica

**Materiales**  
Copiar a la biología



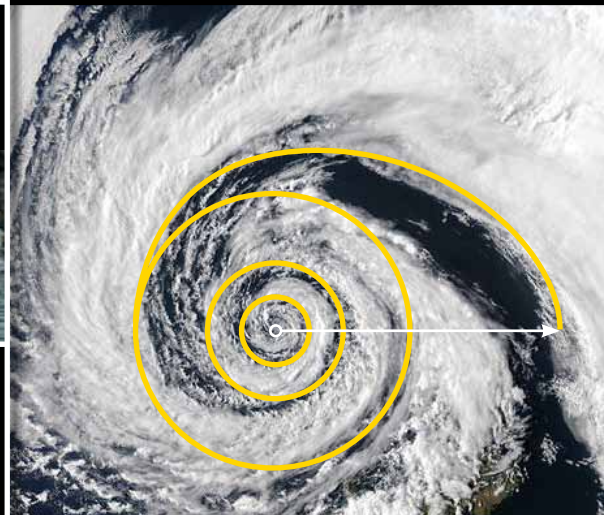
**Entrevista**  
Francisco Ayala



**Pronóstico**  
El clima impredecible



**Dossier**  
"Política científica y Universidad".  
Escriben:  
Lino Barañao,  
Enrique Martínez,  
Jorge Aliaga,  
Mario Albornoz y  
Hugo Sirkin.



La matemática

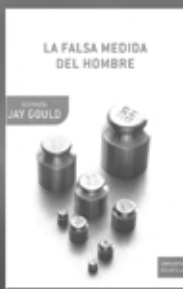
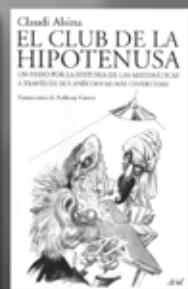
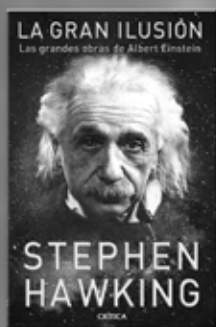
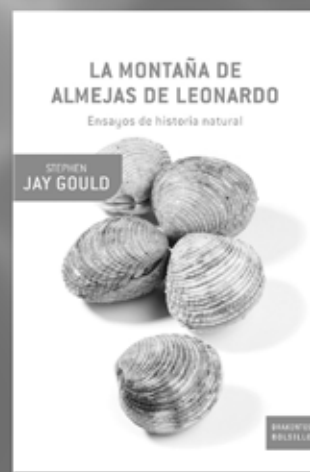
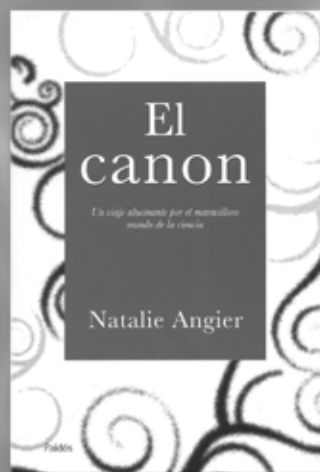
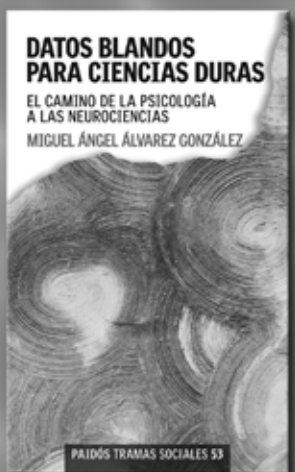
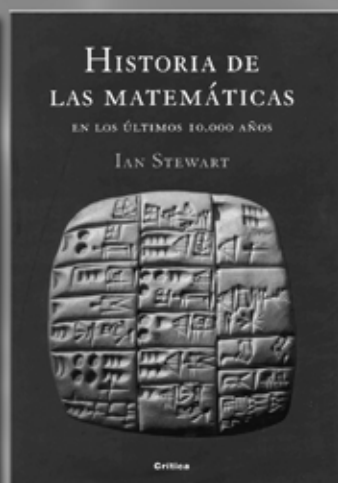
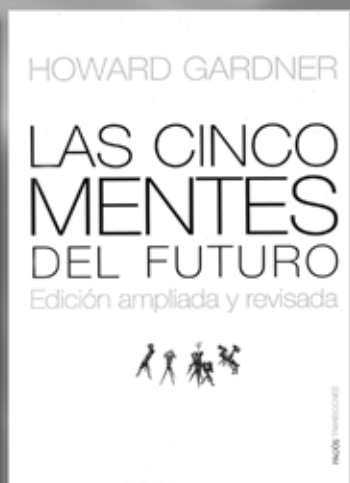
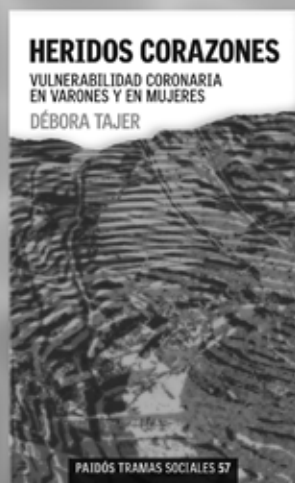
## ¿Invención o parte de la Naturaleza?

ISSN 1514-920X



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

# ciencia y cultura



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



## Consejo editorial

### Presidente

Jorge Aliaga

### Vocales

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

## Staff

### Director

Ricardo Cabrera

### Editor

Armando Doria

### Jefe de redacción

Susana Gallardo

### Coordinador editorial

Juan Pablo Vittori

### Redactores

Cecilia Draghi  
Gabriel Stekolschik

### Colaboradores permanentes

Pablo Coll  
Guillermo Mattei  
Daniel Paz

### Colaboran en este número

Carla García Nowak  
Carlos Borches  
Guillermo Boido  
Olimpia Lombardi

### Diseño gráfico

Pablo Gabriel González

### Fotografía

Juan Pablo Vittori  
Paula Bassi  
Diana Martínez Llaser

### Impresión

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

### EXACTamente

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

UBA-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Secretaría de Extensión, Graduados y Bienestar.

Ciudad Universitaria, Pabellón II,

C1428 EHA Capital Federal

Tel.: 4576-3300 al 09, int. 464,

4576-3337, fax: 4576-3351.

E-mail: revista@de.fcen.uba.ar

Página web de la FCEyN:

http://exactas.uba.ar

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

## EDITORIAL

### La acreditación de la calidad de la educación superior

Durante los últimos meses la Facultad vivió con intensidad el debate sobre si se debían acreditar sus carreras. Este tema se presentó a mediados del año 2006, cuando se conoció que las carreras de Geología, Química, Computación y Biología estaban siendo presentadas ante el Ministerio de Educación por organizaciones de las Facultades que las dictan –y de las que Exactas forma parte– para ser declaradas de interés público. La Ley de Educación Superior (LES) vigente, nro. 24.521, dictada en el año 1995, establece que cuando se trate de títulos correspondientes a profesiones reguladas por el Estado, cuyo ejercicio pudiera comprometer el interés público, se requerirá que se respeten, además de la carga horaria mínima, ciertos contenidos curriculares básicos y criterios sobre la intensidad de la formación práctica. Estos requisitos son establecidos por el Ministerio de Educación, en acuerdo con el Consejo de Universidades, fijando las actividades profesionales reservadas al título. Además, estas carreras deben ser acreditadas periódicamente por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU).

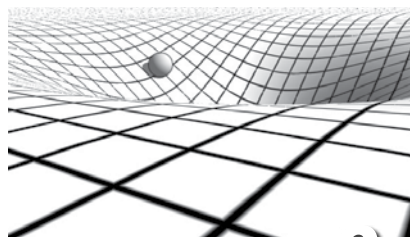
Si bien en la UBA ya habían sido acreditadas carreras de grado, como Ingeniero Agrónomo, Farmacéutico, Bioquímico, Veterinario, Ingeniero Electricista, Ingeniero Civil, Ingeniero Electrónico y nuestra Facultad había acreditado sus posgrados desde el año 1999, era la primera vez que eran declaradas de interés público carreras de grado pertenecientes a Exactas. La mayor parte de las negativas a acreditar se centraron en cuestionamientos a la LES, que vienen desde el momento mismo de su promulgación y que, incluso, en 1996 derivó en un fallo del Juez Federal Ernesto Marinelli que estableció la inconstitucionalidad de la obligación de acreditar para la UBA. El Consejo Directivo de Exactas decidió realizar una consulta a los claustros y en base a su resultado decidió no acreditar las carreras de grado y posgrado hasta que no se dicte una norma que reemplace a la LES.

Sin embargo, es importante separar en el análisis los cuestionamientos a la actual ley y la necesidad de que el Estado Nacional evalúe la calidad de la oferta académica de las universidades públicas y privadas. Si bien el concepto de acreditación se generalizó en la década de 1990 –en el contexto del auge de las políticas neoliberales en todo el mundo– ofrece fundamentos que la tornan independiente de estos. Por un lado, los estados siempre tuvieron mecanismos para regular el ejercicio de profesiones liberales, como medicina, ingeniería o arquitectura, entre otras. Hasta el dictado de la LES, esta función la ejercía el Ministerio de Educación.

A esto se suma que, ante la masificación de la Educación Superior a nivel mundial, y la consecuente proliferación de Universidades, se hizo necesaria la creación de mecanismos que faciliten la movilidad de los egresados, sin la necesidad de reválidas de títulos a nivel individual. Es así cómo surgen organismos similares a la CONEAU en toda Latinoamérica, como por ejemplo en Cuba, Venezuela, Bolivia o Ecuador. Todas estas instituciones se encuentran nucleadas en la Red Iberoamericana para la Acreditación de la Calidad de la Educación Superior, asociación sin fines de lucro y con personería jurídica propia, que desarrolla sus funciones con independencia y autonomía de cualquier estado y gobierno. A través de estos organismos es que comienzan a aprobarse títulos habilitantes en el MERCOSUR. El Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe, organismo de la UNESCO, tiene entre sus objetivos promover mecanismos nacionales y regionales de fortalecimiento de la calidad de la educación superior por medio de procesos de evaluación y acreditación.

Una nueva ley de educación superior, cuya presentación ha sido anunciada en repetidas oportunidades por el gobierno nacional, deberá encontrar las herramientas para, dentro del marco que declare a la educación superior como un bien público y un derecho personal y social garantizado por el Estado –y en un contexto de autonomía ya fijado por la constitución nacional– establezca mecanismos de evaluación y acreditación universitaria acordes con los lineamientos que impulsan todos los países de la región.

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



**MATEMÁTICA 6**

► **¿Un hecho natural o una invención humana?**  
por Guillermo Mattei



**CLIMA 10**

► **La predicción bajo análisis**  
por Gabriel Stekolschik



**PANORAMA 14**

► **Materiales inspirados en la naturaleza**  
por Susana Gallardo



**DISCIPLINAS 18**

► **Aportes y desafíos de la taxonomía**  
por Cecilia Draghi



**ENTREVISTA 34**

► **Francisco Ayala. Biólogo.**  
por Susana Gallardo

**DOSSIER**

**21**



**POLÍTICA CIENTÍFICA Y UNIVERSIDAD**

- **22. Un panorama de la UBA**  
por Hugo Sirkin
- **24. La ciencia y la técnica en tiempos de transformación social**  
por Enrique Martínez
- **26. Un nuevo modelo de crecimiento**  
por Jorge Aliaga
- **28. La Universidad y sus diversas representaciones**  
por Mario Albornoz
- **30. Brasil: ciencia y exclusión**  
por Ivan Chambouleyron
- **31. Chile: innovación y futuro**  
por María Elena Boisier Pons
- **32. Universidad y empresa en el proceso de innovación**  
por Lino Barañao



**SOCIEDAD 38**

► **Exactas y el caso Botnia**



**EXPOSICIONES 40**

► **Bicentenario en Exactas**  
por Carlos Borches



**ECOLOGÍA 41**

► **Presente y futuro del yaguararé**  
por Carla García Nowak



**EPISTEMOLOGÍA 47**

► **El racionalismo científico (tercera parte)**  
por Guillermo Boido y Olimpia Lombardi



**VARIEDADES 49**

► **Las enseñanzas del Maestro Ciruela**  
por Ricardo Cabrera

► **Humor**  
por Daniel Paz

**ADEMÁS**

- **33. Blog**
- **45. Lectores**
- **48. Preguntas**
- **50. Juegos**



EXACTAS  
UBA

# FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

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

Tecnología de Alimentos



Ciencias Biológicas



Ciencias de la Atmósfera



Ciencias de la Computación



Ciencias Físicas



Ciencias Geológicas



Ciencias Matemáticas



Ciencias Químicas



Oceanografía



Paleontología



**exactas.uba.ar**

Ciudad Universitaria | Pabellón II  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires

## EXACTamente ahora tiene BLOG

A partir de octubre, podés  
conectarte con la revista a través de  
**[http://revistaexactamente.  
wordpress.com/](http://revistaexactamente.wordpress.com/)**

En el blog podrás encontrar todas  
las notas de cada número de la revista,  
comentarios sobre ciencia y educación,  
información sobre cómo recibir EXACTamente  
y datos sobre la Facultad.

**Los esperamos.**



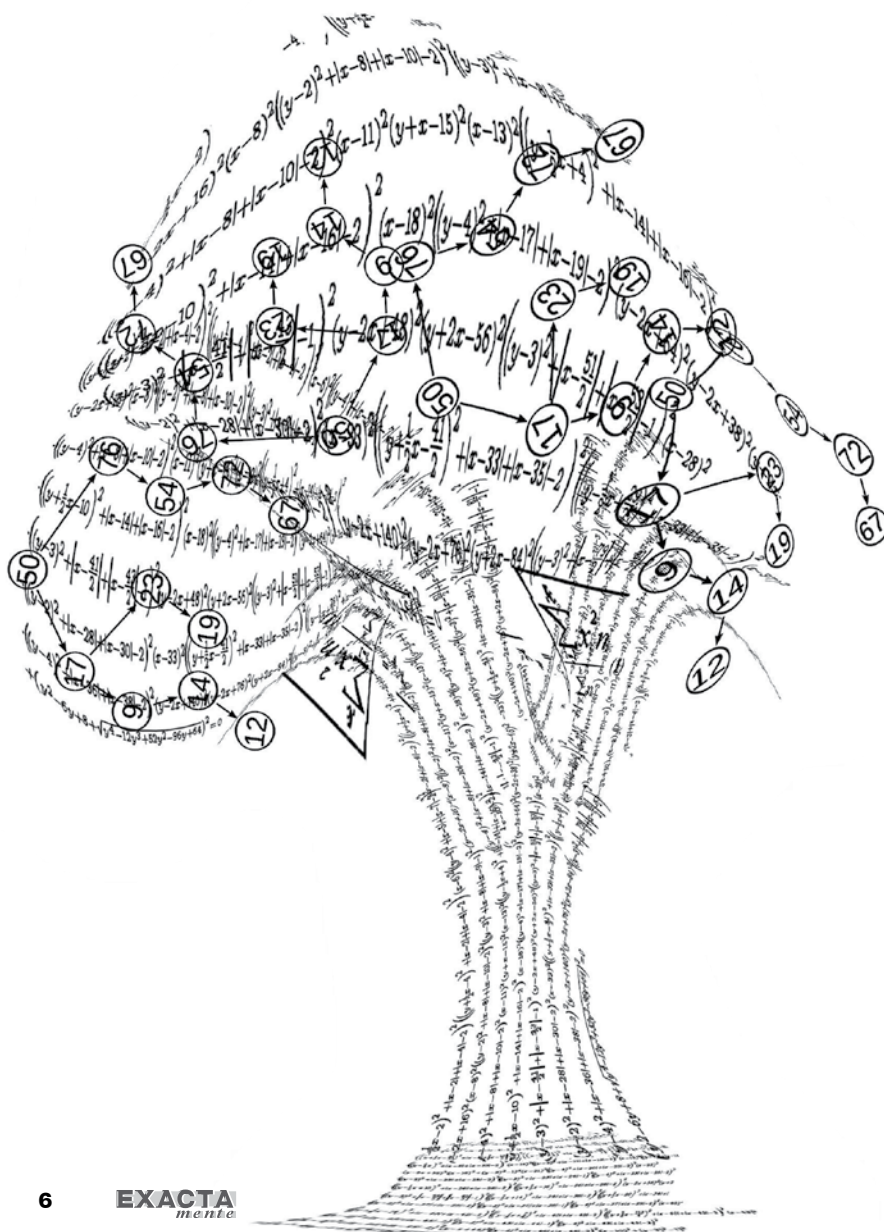


Los científicos analizan su objeto de estudio

# Irrazonable eficacia de la matemática

por Guillermo Mattei | gmattei@df.uba.ar

*Platón la ubicó como parte de la Naturaleza y, de esa manera, al hombre sólo le competiría descubrirla. La selección natural dotó a los cerebros del Homo sapiens con la capacidad de crearla para poder sobrevivir. Frente a estos dos caminos, cabe la pregunta: La matemática, ¿es o se hace?. Responden, puertas adentro del conocimiento científico, los especialistas.*



“El Universo parece haber sido diseñado por un matemático puro”, metáforizó el físico James Jeans (1877-1946). “¿Cómo es posible que la matemática, un producto del pensamiento humano independiente de la experiencia, se ajuste de modo tan perfecto a los objetos de la realidad física?”, preguntó Albert Einstein (1879-1955). “El milagro de la articulación entre el lenguaje, la matemática y la formulación de las leyes de la física es incomprensible y hasta de una exclusividad inmerecida para nosotros los físicos: valdría la pena extenderlo a todas las ramas del conocimiento”, opinó el físico Eugene Wigner (1902-1995) y este comentario perduró como el de “la irrazonable eficacia de la matemática”.

La Naturaleza revela matemática, tal como se ve desde la postura platonista. La imaginación, la creatividad y la capacidad de abstracción del Homo sapiens crea matemática independientemente de entornos y de características personales, es el punto de vista formalista.

Luego, ¿qué es la matemática?, ¿el código de la realidad a descifrar mediante la capacidad intelectual humana?, ¿un producto que, por humano, necesariamente debe resonar con los modos inhumanos de la Naturaleza? En esta nota, sin pretensiones de resumen de estado del arte de la epistemología o de la filosofía de la matemática, las visiones al respecto de algunos cultores profesionales de la matemática.

## Platónicos y formalistas

Para el físico contemporáneo Roger Penrose, la existencia platónica de la matemática no sólo es diferente de la existencia física, sino también de una existencia mental atribuible a nuestras percepciones. En otras palabras, tres mundos ciertamente entrelazados. No todo el mundo matemático condiciona al físico, sino a una parte: hay matemática pura que no correlaciona con ninguna teoría física. No todo el mundo físico condiciona al mental, sino a una parte: el funcionamiento neurológico del cerebro induce una parte de la mentalidad humana. No todo el mundo mental condicionaría al matemático, sino a una parte: sólo una fracción de la mente humana, de una fracción de la humanidad, está interesada en la verdad matemática absoluta. Esta conjetura circular de Penrose podría ejemplificarse de esta manera: los espacios de Hilbert son una parte de la matemática que usa la mecánica cuántica que podría describir la parte del mundo físico que comanda la neurobiología del estado conciente humano que es una parte de la mente capaz de crear matemática pura como los espacios del Hilbert. Penrose concluye: “No cabe duda que en realidad no hay tres mundos sino uno solo, cuya verdadera naturaleza actualmente somos incapaces de entrever”. Otro enigma de trinidad que es uno pero, para el cual no funcionan las conciliaciones como las del de Nicea en el año 325.

En la otra vereda, los neurocientíficos ponen la cuestión en un escenario cognitivo y claramente juegan en el equipo formalista. El prestigioso neurobiólogo Jean Pierre Changeux dice: “El método axiomático es la expresión de la conexión de las facultades cerebrales con el uso del cerebro humano, ya que aquello que caracteriza al lenguaje es precisamente su carácter generativo o la capacidad de dar origen a otros nuevos objetos”.

## Contrapunto

El astrofísico Max Tegmark es concluyente: “Nuestro universo no sólo se describe mediante la matemática, sino que *es* matemática.” Según Tegmark, la descripción final y definitiva del mundo debe lucir independiente de toda carga humana, particularmente del lenguaje y, en ese sentido, no podría incluir conceptos tales como *partículas, cuerdas, deformaciones del espacio tiempo* y otras. La explicación final sólo debería contener conceptos abstractos y las relaciones entre ellos; o sea, la definición operativa de la matemática. Por el contrario, el neurobiólogo Changeux esgrime: “Afirmar la realidad física de los objetos matemáticos en el mismo nivel que los fenómenos naturales que se estudian en biología, plantea un considerable problema epistemológico: ¿cómo puede un estado físico interno de nuestro cerebro representar otro externo a él?”.

Tal como para el popular divulgador de la ciencia Martin Gardner, no cabe duda de que los números y la matemática tienen una existencia propia independientemente de que los hombres sepan sobre ella; para el premiado matemático francés Alain Connes ellos son simplemente una realidad preexistente. Por su parte, otro matemático multipremiado, Michael Atiyah opina: “El hombre ha *creado* la matemática mediante la idealización y abstracción de elementos del mundo físico”. Sin embargo, el físico Mario Livio, se pregunta en su libro “¿Es Dios un matemático?”: “Si la matemática es completamente una invención del hombre, ¿cómo puede tener validez universal? Las civilizaciones extraterrestres inteligentes, ¿inventarían la misma matemática o la nuestra sólo sería un sabor entre varios posibles?”.

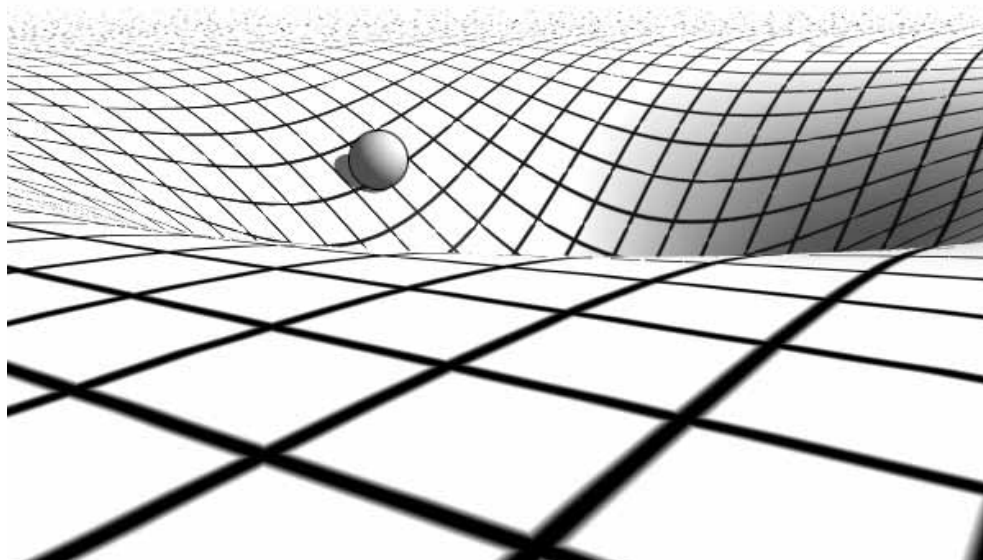
El matemático Israil Gelfand razona: “Sólo hay una cosa que sea más inexplicable que la inexplicable eficacia de la matemática en física, y es su inexplicable ineficacia

en biología”. Sin embargo, el matemático aplicado Joel Cohen, que estudia la salud pública en ciencias de poblaciones, afirma que el próximo microscopio de la biología es la matemática, lo cual solamente mejorará cuando “la biología sea la próxima física de la matemática”. En otras palabras, el sueño de Wigner de extender más allá de la física el milagro de la eficacia de la matemática, ¿alcanzaría su expansión a todo tipo de conocimiento científico, incluido el social? Para esta respuesta, se necesita el espacio de otra nota.

## De la abstracción pura a la realidad medible

Inexplicablemente o no, algunas ideas matemáticas que nacieron absolutamente libradas a la arbitrariedad intelectual de sus autores, reaparecen en algún momento posterior en la Naturaleza como si siempre hubieran estado ahí. Las nuevas geometrías -en tanto libre juego intelectual superador de la milenaria geometría euclidiana- propuestas por el matemático alemán Georg Riemann (1826-1866), su posterior aplicación einsteniana a la dinámica del universo y su coherencia con los actuales datos experimentales de la cosmología de alta precisión, son un ejemplo colosal del flujo de conocimientos que puede ir desde la abstracción más pura hacia un detalle de la Naturaleza que el hombre puede capturar. De manera similar, la llamada Teoría de Grupos, elaborada por el joven Evariste Galois (1811-1832) -la noche previa a su muerte en un duelo por su amada- bajo el torrencioso río de sus abstracciones más puras, hoy es usada por físicos, ingenieros, lingüistas y antropólogos.

“Ninguno de mis descubrimientos ha supuesto, o es probable que suponga, de forma directa o indirecta, para bien o para mal, diferencia alguna en el funcionamiento del mundo”, decía arrogante



el célebre matemático británico Godfrey Hardy (1877-1947) jactándose de la intangibilidad de su trabajo en matemática pura. Sin embargo, ¿en qué se basa la actual ley de Hardy-Weinberg que usan los genetistas para modelizar la evolución de poblaciones? Sí, en los aportes del matemático “puro” Hardy.

Estas situaciones son bastante naturales en ciencia formalizada por lo que la pregunta “¿cuál va a ser la utilidad tecnológica de tu investigación?”, la mayoría de las veces, queda absoluta y paradójicamente descontextualizada. De todas maneras, estos “ajustes” tan perfectos entre la libre creación en matemática, sólo guiada por el talento y la imaginación de su autor, y su posterior descubrimiento como una parte de la realidad lucen wignerianamente irrazonables.

### Voces de la Facultad

La opinión personal del matemático Pablo Jacovkis, docente e investigador del Departamento de Computación, es platónica: “...es que una vez planteada una teoría matemática, si se tiene la suerte de que esa teoría sea consistente, entonces están allí ya todos los teoremas que se pueden demostrar, y el matemático (o la matemática) los descubre”. La demostración “inventada” puede ser una más corta, más elegante o más ingeniosa, pero el teorema estaría desde el exacto instante en que se formulan los axiomas de la teoría. Luego, para Jacovkis “sólo hay que descubrir el teorema, como los europeos descubrieron una América realmente preexistente”. Sin-

téticamente: la teoría o la demostración se inventan, pero el teorema se descubre.

Pablo Amster, profesor e investigador del Departamento de Matemática, explica: “A partir de una crisis que hubo a fines del siglo XIX y principios del XX, se separaron varias corrientes filosóficas de la matemática, de las cuales las dos más conocidas son el platonismo y el formalismo. El platonismo postula la existencia de las entidades matemáticas en el mundo ideal. En cambio, el formalismo considera que todo es pura combinación de signos.” Tal como describieron los matemáticos Philip Davies y Reuben Hersch, “el matemático típico es platónico los días de semana (es decir, opina que es un descubrimiento) y formalista (es decir, que es un invento) los domingos”. En ese sentido, Amster complementa: “Cuando uno está en el día a día trabajando, dice: ‘agarro un plano, lo interseco con una esfera’, y todo eso tiene existencia real. Y el día que se deja de trabajar, el domingo, cuando se piensa sobre lo hecho, uno se da cuenta de que es pura abstracción, pura letra.” Amster celebra que la matemática esté al servicio de la ciencia o que sea el lenguaje de la ciencia, pero su concepción de la matemática es más cercana al arte, a la creación pura. “Los formalistas se despreocupan del éxito de la matemática, de su aplicación para resolver problemas del mundo. Claro que hay también matemática aplicada. Pero para mí, la matemática es un lenguaje que me permite crear y expresar cosas”, concluye Amster.

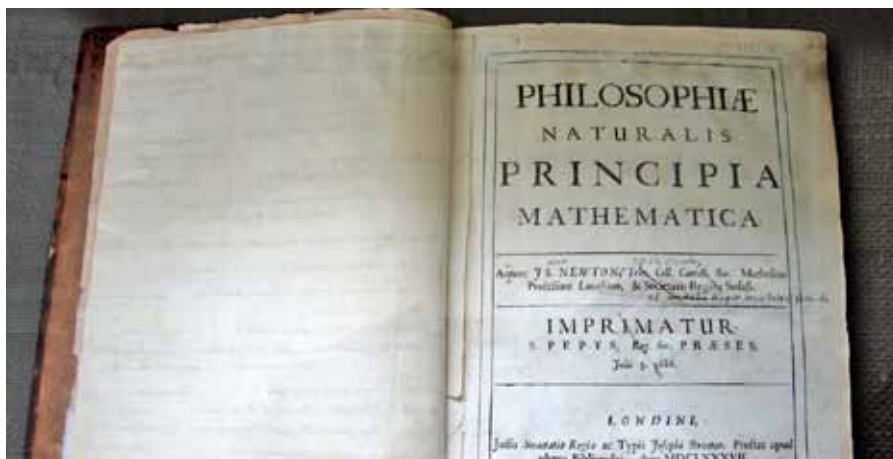
### DESDE LA EPISTEMOLOGÍA

“Concientemente o no, quienes practican la matemática pura, es decir la no aplicada, suelen tratar a las entidades matemáticas como si fueran ciertas cosas, es decir, suponen que ellas son reales, lo cual remite a una posición de carácter platónico”, afirma Guillermo Boido, docente e investigador del Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias de la FCEyN y agrega que, sin embargo, desde una perspectiva epistemológica, para el formalismo, dichas entidades no tienen contenido significativo alguno.

Boido explica: “Éstas son las posiciones más habituales. Hay también quienes adhieren al llamado “logicismo”, según el cual tales entidades se reducen a las de la lógica -que son puramente formales-, mientras que otros, que adoptan un enfoque denominado “neointuicionista”, sostienen que son construidas por nosotros. Sólo en el primer caso podríamos decir que aquello con lo que trata la matemática se descubre porque preexiste de antemano. En cualquier otro caso, lo que se sostiene es que las entidades matemáticas surgen de un proceso de carácter intelectual. Sin embargo, se trata de una cuestión no resuelta que sigue siendo objeto de controversia.”



*Philosophiæ naturalis principia mathematica*, de Isaac Newton. Para muchos, la obra científica más grande jamás publicada sobre la descripción matemática de la Naturaleza. Para Isaac Asimov, el trabajo que acabó, de una vez por todas, con el complejo de inferioridad del europeo moderno, con relación a los antiguos, para describir el mundo.



“Como matemático, creo que, en general, nuestro trabajo se hace con estructuras formales y lo podemos hacer, en un sentido operacional, sin prestarle atención a la realidad”, explica Gabriel Acosta, profesor e investigador del Departamento de Matemática. Las excepciones a esta dinámica son aquellas en que la pregunta original implica un contacto directo con el mundo. Acosta agrega: “En este último caso hay un momento necesario, que podemos llamar vagamente “de modelización”, donde ciertos aspectos de la realidad se recortan y formalizan y, aquí, el matemático puede poner su habilidad conceptual en favor del trabajo interdisciplinario. Por otro lado, si nos apegamos al cliché que reduce a la matemática a un pasaje de premisas a conclusiones válidas apelando a ciertas reglas (que pueden variar en cada caso) y donde “válido” significa precisamente obtenido a través de las reglas; entonces, como las reglas son contingentes, el asunto de la necesidad está dado sólo por la validación y sería eso, justamente, lo que le da perpetuidad y universalidad a la matemática”. Acosta advierte: “No hay que olvidarse de que en un teorema de la forma típica “si A entonces B”, el teorema está en la parte del “entonces”, y eso es lo completamente verdadero. Lo curioso y sorprendente es que, dicho de ese modo, pareciera muy improbable que la matemática tuviera capacidad de dar cuenta de la realidad; sin embargo, ocurre justamente lo contrario: le asociamos aquello más perdurable y universal”. Acosta reflexiona: “La aspiración matemática a lo general y su amistad con la abstracción le han proporcionado una mística particular” pero aclara que, sin embargo, este sitio se lo ha ganado por merito propio porque abundan los ejem-

plos en los cuales la abstracción más profunda conduce a predicciones notables sobre la realidad.

“Si en la pretensión cartesiana de un racionalismo teológico, hay un ‘Libro de Dios’ al que algunos pocos acceden, yo no podría afirmarlo; pero como descripción poética me parece perfecta. Para el célebre matemático húngaro Paul Erdos (1913-1996), el libro de Dios existe pero en él sólo está escrita la mejor demostración de cada teorema”, concluye Acosta.

Por su parte, el profesor e investigador del Departamento de Matemática de la FCEyN, Pablo Groisman, prefiere ver a su disciplina como una creación antrópica: “La matemática es una construcción netamente humana, pero no nos olvidemos que el hombre forma parte de la Naturaleza. No sólo es imposible independizarse del contexto en el que uno hace matemática, sino que podría haber diferentes matemáticas cada una ligada al entorno de su creador. Yo creo que la matemática no es única. Si hay leyes universales que valen acá o en otras galaxias, ambas matemáticas van a estar influenciadas por esas mismas leyes pero probablemente de manera diferente. Serán distintas matemáticas porque son una construcción dependiente de su entorno natural.”

“A veces uno está detrás de modelar fenómenos naturales pero yo creo que esos modelos no nos son dados cuando se supone que los descubrimos sino que son una forma particular de verlos y, en ese escenario, las visiones pueden ser bien diferentes”, explica Groisman y ensaya una analogía del efecto mariposa sobre la evolución de la matemática: “Si hace

dos mil años se hubiera producido una pequeña variación en la matemática que se estaba haciendo en ese momento yo creo que hoy la matemática podría haber sido otra totalmente distinta.”

Groisman continúa: “No creo que sea relevante que haya conceptos o aportes de la matemática de tres mil años de antigüedad que, porque los seguimos usando y sean válidos, le den a la matemática una superioridad frente a otras construcciones intelectuales donde eso no pasa. Que usemos la matemática que usamos hoy es sólo una convención. Mañana la comunidad de los matemáticos podríamos decidir convenir otra cosa.” Finalmente opina: “Tengo una visión menos mística o que coloque a la matemática por encima del hombre y de su contexto; por el contrario, como el hombre no domina el contexto, la matemática que se produce es finalmente dependiente de su individualidad y de su entorno, el cual incluye también a la comunidad de matemáticos como tal.”

### De tesis y de antítesis

Es o se hace. Descubierta o idealizada. Código de la realidad o estructura mental. Una de las descripciones matemáticas de la parte de la realidad que le compete a la mecánica cuántica –el mundo subatómico–, implica –para el escándalo de cualquier filósofo clásico– que las tesis y las antítesis, sintetizan. Ondas y partículas son exactos opuestos en una única entidad. En esa lógica no clásica y por más tautológico que luzca el argumento, ¿el hombre construirá a la matemática arbitrariamente y sujeto a su contexto natural sólo para inevitablemente descubrirla en la Naturaleza? | 9

La predicción del clima bajo análisis

# ¿Paraguas o sombrilla?

Por Gabriel Stekolschik  
gstekol@de.fcen.uba.ar

*En ciertos momentos del año, existe una percepción generalizada de que el pronóstico meteorológico no acierta lo suficiente. Y algo de verdad hay en ello. Porque, según los propios meteorólogos, es más difícil hacer predicciones del tiempo durante el verano. Es en esta época cuando más se pone en juego la experiencia del pronosticador.*

CePro



Si hay algo que nos distingue a los humanos del resto de las especies que habitan este mundo es la conciencia de que hay un después, un mañana. Saber que enfrentamos un porvenir más o menos duradero nos ha obligado a tratar de hacer las previsiones necesarias para prevenir infortunios y asegurar la subsistencia. Así, desde las eras más remotas, la humanidad ha tenido una fuerte preocupación por adivinar el futuro.

Particularmente, la predicción del tiempo ha ocupado un lugar trascendente en la historia de la civilización. Porque, desde siempre, se intuyó que anticiparse a las inclemencias de las fuerzas de la naturaleza permite proteger bienes y, sobre todo, salvar vidas. Hoy también se sabe que predecir los caprichos de la atmósfera contribuye al desarrollo socioeconómico de las naciones y a la protección del medioambiente.

Pero para quienes en la actualidad habitamos las grandes urbes, el pronóstico del tiempo es, prácticamente hablando, sinónimo de elegir qué ropa ponernos para salir a la calle, o de determinar si conviene llevar o no un paraguas, o de estar al tanto acerca de si vamos a “tener sol” para proyectar una salida durante el próximo fin de semana.

Sin embargo, las predicciones meteorológicas también son indispensables para la toma de decisiones en áreas críticas. Prevenir el impacto de lluvias intensas sobre poblaciones situadas en zonas inundables, planificar el tráfico de un puerto o la construcción de un edificio son algunas de las decenas de acciones que dependen del conocimiento que puede brindar un servicio meteorológico. Por ejemplo, en Gran Bretaña, el organismo encargado del tiempo provee un pronóstico dirigido específicamente a los centros de salud, que toma en cuenta condiciones climáticas, datos epidemiológicos, grado de contaminación del aire, y otros factores ambientales y socioeconómicos, para advertir a los hospitales sobre un posible aumento en la demanda, permitiendo optimizar la capacidad de atención de los pacientes.

No obstante, y pese a los grandes adelantos científicos y técnicos que se han logrado en las últimas décadas, hay ciertos momentos

*Pese a los grandes adelantos de las últimas décadas, hay ciertos momentos del año en los cuales los propios pronosticadores se ven sorprendidos por fenómenos climáticos inesperados.*



Martín Zabala

del año en los cuales los propios pronosticadores se ven sorprendidos por una tormenta inesperada. “Para la zona central del país, que incluye a la Capital Federal, la dificultad del pronóstico es mayor en verano que en invierno”, reconoce Leonardo De Benedictis, meteorólogo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

En otras palabras, durante la época estival es más probable que el pronóstico falle. Y esto no es un problema exclusivamente argentino: “El desafío que representa el pronóstico de tormentas no se limita a nuestro país, sino que es un problema de alcance mundial”, señala la doctora Matilde Nicolini, investigadora del Conicet en el Centro de Investigaciones del Mar y de la Atmósfera (CIMA).

### **¿Botas o sandalias?**

Ahora usted está advertido: si es afecto a guiarse por el pronóstico meteorológico antes de prepararse para salir de casa, debe tener en cuenta que, en verano, es más probable que un chubasco lo sorprenda despretegido.

Que el chaparrón le moje los pies sin aviso (o, dependiendo de la zona, lo deje sumergido con el agua hasta las rodillas) es consecuencia de la mayor complejidad que comporta vaticinar el comportamiento de la atmósfera durante la estación cálida.

Las causas de esta mayor dificultad son varias. Entre ellas, que las tormentas veraniegas se generan más rápidamente que las invernales y en una escala espacial mucho menor. “Durante el invierno, las tormentas se originan por el pasaje regular de frentes fríos que tienen una escala espacial de unos mil kilómetros. Eso los hace visibles en las imágenes de satélite y permite su seguimiento”, explica la doctora Claudia Campetella, coordinadora del Grupo de Pronóstico del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

Es decir que, durante la época invernal, los meteorólogos pueden “ver venir” la tormenta. Esto ocurre gracias a las imágenes satelitales, esas que a veces nos muestran en los noticieros de televisión y en las cuales solemos ver grandes áreas nubosas que se desplazan a lo largo y a lo ancho del territorio argentino. Esos frentes fríos, que generalmente provienen del sur del planeta, suelen demorar varios días en llegar a la zona central del país. Si encuentran una masa de aire caliente proveniente del norte, probablemente se produzcan lluvias. El seguimiento de este proceso permite anunciar con mayor certeza la probabilidad de precipitaciones.

Pero, en verano, muchas veces sucede que la naturaleza no avisa con tanta claridad y anticipación o, si lo hace, todavía no contamos con el conocimiento y las herramientas suficientes para descifrar el mensaje a tiempo.

### **Tiempo inestable**

“Durante el verano, toda la actividad de frentes se desplaza mucho más al sur y los frentes fríos llegan sólo ocasionalmente a latitudes como la de Buenos Aires. Entonces, dominan los fenómenos convectivos, que se producen más rápidamente y en un área más pequeña”, consigna Campetella.

La convección es un proceso que ocurre cuando la energía solar calienta el suelo en un determinado lugar. Ello provoca que el aire que está en contacto con esa superficie se caliente y, por lo tanto, que se haga menos denso, lo cual hace que se eleve. Si durante su ascenso el aire encuentra humedad suficiente, puede generar nubes que, ocasionalmente, originarán precipitaciones. “En verano entra en juego una variable, que es la más ‘temida’ por los pronosticadores porque impone una fuente adicional de energía difícil de cuantificar, que es el Sol. Una variación en la cantidad de energía solar puede disparar cambios que pueden romper un pronóstico en cuestión de minutos”, revela Matías Bertolotti, jefe de pronósticos de E-Met, y amplía: “El carácter netamente convectivo de las tormentas del verano hace que estos eventos sean caóticos y, por lo tanto, más difíciles de predecir y seguir, aun utilizando las mejores tecnologías”.

La mayor dificultad para pronosticar el tiempo durante el estío no sólo obedece a que las tormentas convectivas pueden conformarse en cuestión de minutos sino, también, a que pueden desarrollarse en áreas muy pequeñas. “En algunos casos, pueden tener un diámetro de apenas 10 kilómetros”, ilustra Campetella. De esta manera, un ligero desplazamiento en su recorrido puede resultar en que la predicción

### **RUTINA DIARIA**

Dos veces al día, minutos después de la medianoche y cerca del mediodía, el personal del Servicio Meteorológico Nacional registra los datos de las observaciones del estado del tiempo que proveen las estaciones meteorológicas de la región y los carga en los programas de computación diseñados para predecir el tiempo. Estos modelos numéricos demoran alrededor de 30 a 40 minutos para resolver el complejo conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento de la atmósfera.



A la derecha, algunos de los métodos que usan los pronosticadores a diario para determinar el estado del tiempo: El modelo numérico (1), las imágenes satelitales (2) y el radar meteorológico (3).

de lluvias para un determinado lugar sea fallida. Por ejemplo, pueden anunciarse precipitaciones para la Capital Federal y suceder que, luego, sólo llueva en Avellaneda o, incluso, que el chaparrón ocurra en algunos barrios de la Ciudad y en otros no. Lógicamente, para quienes habitan los lugares en los que no llovió, el pronóstico fue errado.

### Modelo para armar

Que un picnic veraniego planificado con el pronóstico meteorológico no se arruine sorpresivamente, también tiene que ver con las herramientas que se utilizan para hacer las predicciones del tiempo. Entre las principales, se encuentran los llamados “modelos numéricos”. Se trata de programas informáticos que, mediante conjuntos de ecuaciones muy complejas, simulan el comportamiento de la atmósfera y son los que permiten, por ejemplo, hacer las predicciones a tres días que aparecen ilustradas en el diario y en la televisión (ver recuadro *Idealizaciones*).

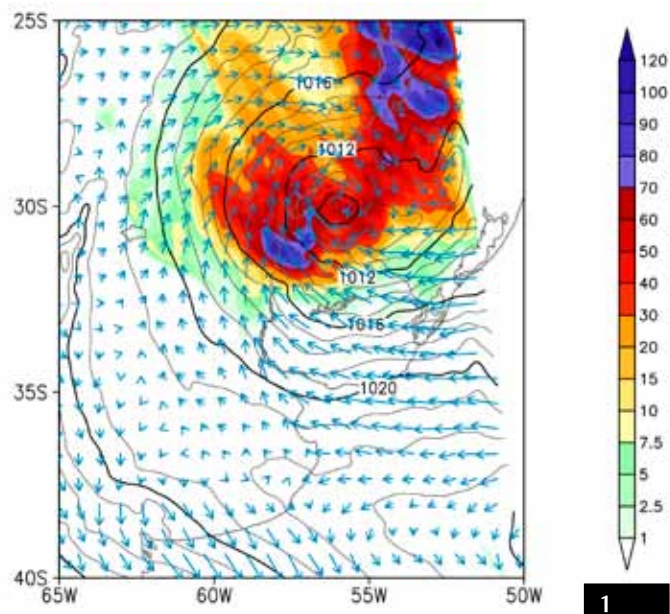
Estos instrumentos de la meteorología funcionan bastante bien para escalas espaciales grandes (se las llama “escalas sinópticas”), pero no tienen buena resolución para las tormentas estivales cuyo tamaño sea inferior a los 50 kilómetros de diámetro: “Si es muy pequeño, un sistema convectivo puede ser invisible para los modelos que utilizamos en el SMN y, por lo tanto, pasar inadvertido”, informa De Benedictis. “Para trabajar en la escala convectiva

### FALTAN DATOS

En Meteorología, contar con los datos climáticos de la mayor cantidad posible de lugares del territorio tiene un valor crucial, tanto a la hora de elaborar un pronóstico como para efectuar investigaciones. Y todos los meteorólogos consultados coinciden en que, en el país, hay un déficit importante de estaciones de medición.

En este sentido, la historia del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) –que es el responsable de esas mediciones– muestra fuertes altibajos, relacionados con los vaivenes políticos de la institución.

Desde su creación y hasta 1966, el SMN estuvo integrado por especialistas en la materia. Pero ese año, un decreto de Onganía eliminó el requisito de idoneidad profesional para ejercer funciones superiores en ese organismo. Esa intervención militar, que transfirió la institución a la órbita de la Fuerza Aérea y que se prolongó hasta 2007 (año en el que se restituyó el SMN a los civiles), redujo drásticamente la cantidad y calidad de las mediciones. “Hay zonas que están muy pobres en datos. Por ejemplo, la zona norte de Santiago del Estero, el oeste de Chaco, y el oeste y el sur de La Pampa. También en la Patagonia hay amplias áreas sin datos”, ilustra De Benedictis.



se necesitaría contar con modelos muy sofisticados que, todavía, están en desarrollo”, confirma Campetella.

“En el campo de la investigación estamos encarando este desafío”, revela Nicolini, que se especializa en el estudio de las tormentas. “Pero, para ello necesitamos contar con más mediciones en superficie y en niveles altos de la atmósfera y con más radares”, añade.

Es que, para que los modelos funcionen correctamente, sus ecuaciones deben ser alimentadas con la mayor cantidad posible de datos (presión, temperatura, etc.), que son obtenidos en las estaciones meteorológicas diseminadas por el territorio nacional. Pero, todavía, la cantidad y distribución de esos centros de medición no son los adecuados (ver recuadro *Faltan datos*).

Por otro lado, en el caso de que se dispusiera de esos modelos tan complejos, también haría falta tener supercomputadoras que pudieran efectuar una gran cantidad de cálculos en un tiempo mínimo: “Para tener un pronóstico que sea útil, esas ecuaciones se deberían resolver en tiempos operativos. Si la computadora demora una semana en resolver el pronóstico de mañana no le sirve al público”, comenta Campetella.

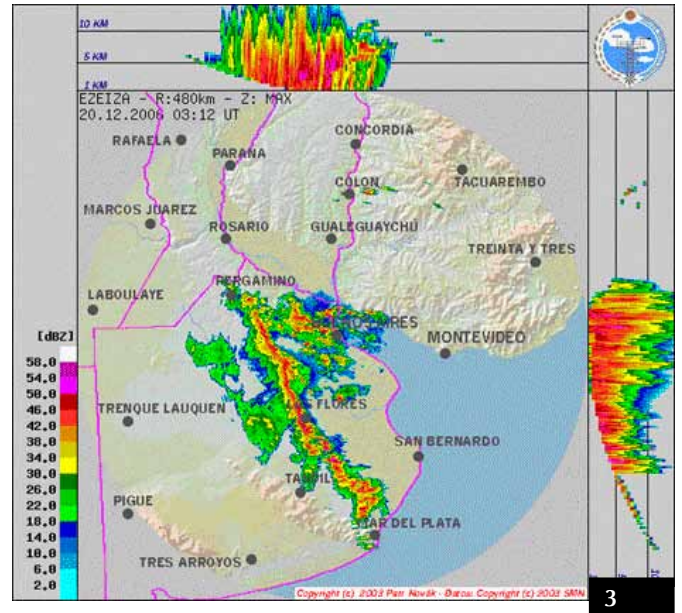
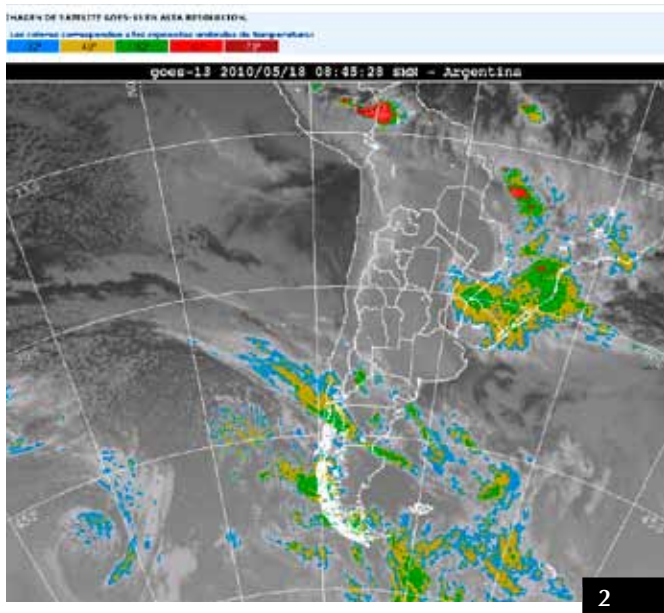
### Mínuto a minuto

Si bien la meteorología internacional advierte que, todavía, el pronóstico del tiempo a mediano plazo está en una fase experimental, los expertos coinciden en que los modelos desarrollados por Europa y Estados Unidos pueden predecir con bastante exactitud lo que ocurrirá en esas regiones durante los próximos diez días.

En la Argentina, debido a la insuficiencia de estaciones de medición y, en consecuencia, a la escasez de datos para alimentar a las computadoras, los meteorólogos coinciden en que los modelos que aquí se utilizan son útiles para predecir qué sucederá con el tiempo dentro de las próximas 72 horas.

Pero las características súbitas y caóticas de las tormentas de verano hacen que, durante esta estación, esa herramienta falle muy frecuentemente.

Para reducir el margen de error, y en tanto los modelos convectivos no sean suficientemente ágiles y precisos, el único instrumento



disponible para pronosticar tormentas en el muy corto plazo, es decir, en el término de una a tres horas, es el radar meteorológico.

“Si bien la información que brindan los satélites es importante para pronosticar una tormenta, dan los datos una vez por hora, por lo tanto, no ayudan demasiado. Si uno quiere pronosticar este tipo de tormentas y dar un alerta de granizo con mayor certeza e, incluso, predecir la intensidad de la precipitación, se necesitan radares”, aclara Campetella.

Hasta el año 2009, nuestro país contaba con sólo dos radares para predecir tormentas. Uno situado en Ezeiza, que depende del SMN, y otro situado en la ciudad de Pergamino, que pertenece al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Durante el año pasado se han inaugurado dos nuevos radares del INTA: uno en Paraná (Entre Ríos) y otro en Anguil (La Pampa). “En los últimos años se ha avanzado muchísimo y es mucha la experiencia que se está ganando ahora con esos cuatro radares. No obstante, todavía quedan muchas áreas del país muy afectadas por tormentas que no están cubiertas”, considera Nicolini.

“Todavía faltaría una cobertura un poco más importante, sobre todo en el noreste del país, que es una de las zonas más activas en verano y donde se registran los eventos más severos”, describe De Benedictis, al tiempo que recuerda el violento tornado que asoló San Pedro, en Misiones, hace pocos meses. “Sería muy interesante tener cobertura en todo el país. El proyecto está”, añade.

### Naturaleza humana

Los modelos son, como su nombre lo indica, precisamente eso: modelos. Es decir que, en última instancia, son idealizaciones construidas por el hombre para tratar de predecir el comportamiento de la atmósfera. Pero la naturaleza no obedece las leyes humanas sino que sigue sus propias reglas que, todavía, estamos lejos de discernir acabadamente.



### IDEALIZACIONES

Para lograr precisión, los modelos numéricos de predicción requieren de datos climáticos de todo el planeta que estén espaciados uniformemente. Pero, la gran proporción de territorio cubierto por agua y la condición menos desarrollada del Hemisferio Sur hacen que las estaciones meteorológicas de esta parte de la Tierra sean relativamente escasas. Y allí donde el dato real no existe se deben efectuar idealizaciones (se le llama “análisis enriquecido”) que resultan en la creación de metadatos, es decir, datos construidos a partir de otros datos.

Mientras tanto, podría decirse que hacemos lo que podemos a partir de lo que sabemos y, en este camino, la experiencia ayuda mucho: “Los modelos pueden fallar porque resuelven la convección de una manera simplificada. Ahí es muy importante la experiencia del pronosticador, que le permite tomar en cuenta algunas cuestiones climatológicas que el modelo no puede ver o, también, discriminar qué modelo utilizar entre todos los disponibles”, opina Campetella.

“Si bien la escala en la cual se hace el pronóstico del tiempo ya de por sí es una gran ayuda, después uno tiene que hilar más fino para poder llegar a descubrir sistemas de menores escalas, que son los que disparan estos fenómenos convectivos, estas tormentas”, apunta Nicolini.

Así, a la hora de predecir una tormenta estival con cierta anticipación, el meteorólogo es la pieza clave: “La experiencia del pronosticador es lo que permite compaginar adecuadamente toda la información y hacer un ensamble propio. Eso es valor agregado. Y el verano necesita más valor agregado que el invierno”, sostiene Campetella.

En definitiva, aunque las tormentas estivales nos sometan, de cuando en cuando, a algún chapuzón inesperado, también nos muestran que el hombre todavía sigue siendo más importante que las máquinas. Del mismo modo, la naturaleza nos recuerda que, por más que estemos al tanto de lo último que nos dice la radio o que nos cuentan en la tele, ella es la que decide, al menos todavía, qué es lo que sucede en el cielo. |



Biomimetismo

# Naturaleza inspiradora

por Susana Gallardo  
sgallardo@de.fcen.uba.ar

*Muchos investigadores se encuentran abocados a indagar los diseños y las estrategias de plantas y animales alcanzados luego de millones de años de evolución. La idea es inspirarse en ellos, o directamente imitarlos, con el fin de crear materiales con propiedades particulares y que permitan aplicaciones tecnológicas.*



La cubierta de los crustáceos, el nácar de las valvas de los moluscos y los huesos de los vertebrados, todos poseen resistencia y elasticidad incomparables. No hay misterio. Se trata de la combinación de moléculas biológicas con compuestos minerales en una estructura ordenada y, a veces, periódica, con dibujos que se repiten, como los motivos de una alfombra.

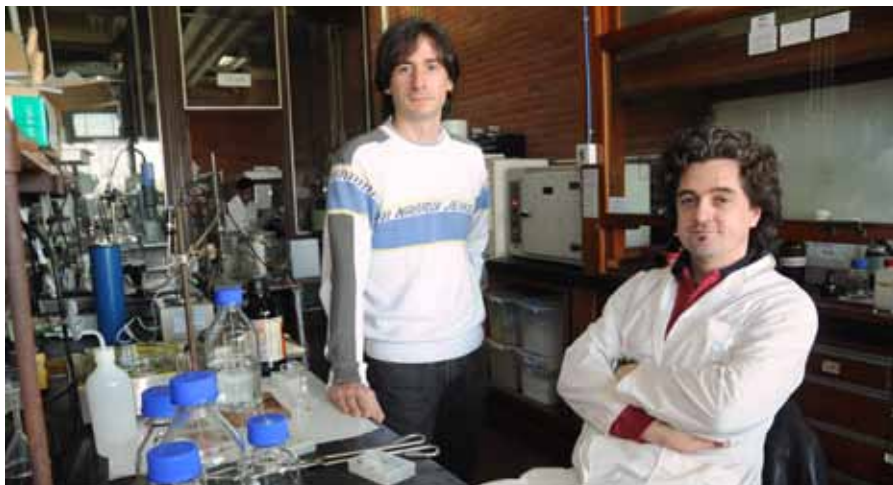
Por su parte, las alas de las mariposas y los caparazones de los escarabajos muestran múltiples posibilidades de color. En ellos es también la estructura ordenada y repetitiva la que les otorga esas propiedades ópticas. Tanto unos como otros son el resultado de millones de años de evolución. ¿Será posible que el hombre pueda imitarlos y producir materiales con propiedades similares?

Ese es el gran desafío de un nuevo campo de interés que dio en llamarse biomimetismo o imitación de la vida. Así, distintos grupos de investigación en el mundo están empeñados en observar en detalle la naturaleza para crear productos con aplicaciones tecnológicas.

Para lograr esa imitación, o más bien inspiración, es necesario, en muchos casos, acceder a la escala nanométrica para estudiar la microestructura de las superficies. Este sumergirse en el mundo nanoscópico es posible gracias a toda una nueva generación de microscopios poderosos, desarrollados en los últimos años.



*Martín Bellino y Galo Soler Illia desarrollaron, en su laboratorio de la CNEA, un compuesto híbrido orgánico-inorgánico que conserva su funcionalidad biológica.*



### La clave, en la estructura

La selección natural tardó millones de años en producir organismos con propiedades que causan la admiración y la envidia del hombre. Pero éste recién ahora está en condiciones de producir materiales equivalentes. “Se tardó un tiempo en comprender la importancia de la microestructura”, reflexiona la doctora Sara Aldabe-Bilmes, profesora del Departamento de Química Inorgánica, Analítica y Química-Física (QIAQF), de la FCEyN, e investigadora del Inquimae-Conicet.

Las copas de los árboles, por ejemplo, tienen una estructura que regula la temperatura, la humedad, la radiación solar y el movimiento del aire. Lo mismo sucede con la forma en que se ensamblan las fibras de la madera, lo que confiere dureza y resistencia, y se relaciona con la disposición de ciertos bloques que, a su vez, se componen de bloques más pequeños.

“La clave para que ciertos materiales no se rompan reside en su microestructura, formada por ladrillos muy chiquitos, unidos con proteínas y polisacáridos que brindan elasticidad y permeabilidad. Al recibir un golpe, los pequeños bloques se reacomodan, sostenidos por una red elástica”, detalla la investigadora.

Otro ejemplo de microestructuras muy resistentes es la tela de araña, que puede ser más fuerte que el acero, en función no sólo de la resistencia del hilo sino también de la conformación de la tela.

También son reconocidas las propiedades de un tipo de lagarto, el gecko (nombre originado en una onomatopeya malaya que reproduce el grito de estos animales). Las plantas de los pies de estos reptiles poseen unas almohadillas que les permiten escalar superficies lisas verticales, y caminar por

los techos con facilidad. El secreto de la adherencia reversible, es decir, la posibilidad de pegarse y despegarse sin problemas, está en la fuerza atractiva o repulsiva entre las moléculas.

Lo importante, nuevamente, es la microestructura: “Con un microscopio electrónico, se ve que la superficie de las almohadillas consiste en un conjunto de manojos que se repiten en forma regular, y cada uno se compone por pequeños pelitos”, explica Aldabe-Bilmes. La estructura es jerárquica: cada manajo contiene manojos similares, más pequeños, y así sucesivamente.

### Como las mariposas

En la naturaleza, no solo los pigmentos producen color, sino también la estructura de la superficie. Es una propiedad presente en muchas especies animales y vegetales, así como en algunos minerales, que poseen iridiscencia debido a efectos de interferencia de la luz. La causa reside en una microestructura tridimensional muy particular, con formas que se repiten a intervalos regulares.

Un ejemplo es el ópalo, un mineral constituido por capas sucesivas de pequeñas esferas de silicatos. Esas partículas microscópicas de 0,1 micrón de diámetro se encuentran como empaquetadas en un enrejado tridimensional gracias al cual, este mineral es capaz de reflejar los rayos de luz y transformarlos en los colores del arco iris. El efecto reflector del ópalo se debe a la penetración de la luz a través de la estructura de esferas y de espacios vacíos ubicados entre las esferas.

Cualquier pigmento absorbe luz en una determinada longitud de onda y refleja aquella que no absorbe. En cambio, tanto en las alas de las mariposas como en

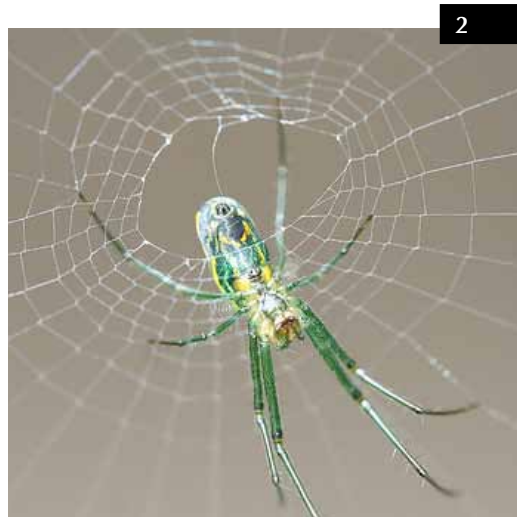
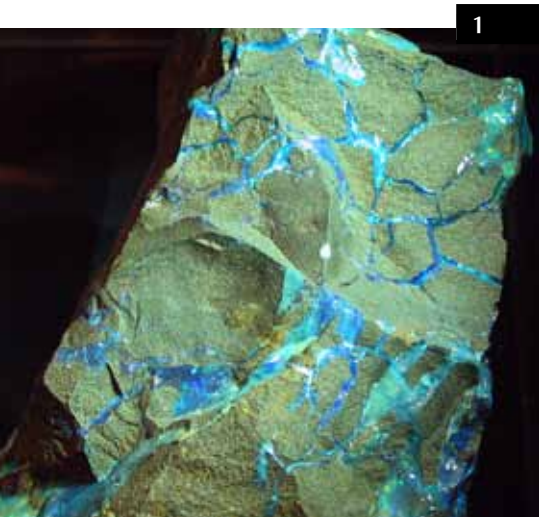
el ópalo, la luz se absorbe sólo en parte, y lo que vemos no es la luz reflejada directamente por el objeto. “La luz, en una estructura tan compleja, recorre diferentes caminos y puede intensificarse más o menos”, comenta la doctora Diana Skigin, investigadora del Grupo de Electromagnetismo Aplicado, en el Departamento de Física de la FCEyN, que trabaja junto con la doctora Marina Inchaussandague, también investigadora de Conicet.

Y agrega: “Mientras que el color del pigmento se ve igual desde todos los ángulos de visión, lo que se conoce como color estructural es el resultado de la reflexión selectiva o la iridiscencia, que por lo general está presente en estructuras periódicas, formadas por muchas capas”. Por ejemplo, las mariposas, si bien cuentan con células que contienen pigmentos, muchas de ellas poseen color estructural. Lo mismo sucede con los escarabajos.

La estructura de las alas en forma de celdas del tamaño de unos 600 nanómetros hace que la luz forme un patrón de difracción debido a la interferencia entre haces de luz. Según el ángulo desde el que se observen las alas, se aprecian variaciones desde el violeta al verde, pasando por los azules. Esta capacidad de confundir al observador, seguramente, proteja a estos insectos de los predadores.

Asimismo, hay una especie de chinche (un insecto hematófago) casi transparente, que, cuando advierte un peligro, segrega una sustancia que ocupa los huecos de la microestructura de su caparazón, y ello hace que adquiere un color verde que le permite camuflarse entre las hojas.

Diana Skigin está abocada a identificar especies de insectos de la Argentina cuyo colorido se deba no a pigmentos sino a las características estructurales. “Las identifi-



### ...QUE TODO SE LIMPIE SOLO

Un grupo de investigadores de Exactas, dirigido por la doctora Sara Aldabe Bilmes, desarrolló un recubrimiento autolimpiante para cerámicas y azulejos a base de dióxido de titanio, un compuesto que, al recibir radiación ultravioleta del Sol, destruye la materia orgánica que se encuentre adherida a su superficie, tanto la suciedad como los microorganismos patógenos. De este modo, el recubrimiento no sólo facilita la limpieza de baños y cocinas, sino también, y principalmente, puede mantener la asepsia en salas de hospitales.

Si bien está inspirado en la flor de loto, el mecanismo es muy diferente. Cuando la luz incide sobre ese compuesto, sus electrones absorben esa energía, y se desplazan, dejando “huecos” con carga positiva. Estos huecos son muy oxidantes y destruyen cualquier sustancia orgánica que se halle en las proximidades. Además, con la luz, el dióxido de titanio se hace hidrofílico, es decir, afín al agua, y sus cargas positivas se combinan con átomos del agua, formando radicales libres, que son unas especies químicas con muy alto poder oxidante.

“Todo lo que se acerca al radical libre, se oxida. Es una manera de ‘quemar’ sin fuego, lo que convierte al recubrimiento en un excelente bactericida”, señala Aldabe-Bilmes.

El dióxido de titanio es una sustancia de bajo costo que se emplea en cosmética, en cremas protectoras solares, y también en la producción de pinturas, papel, cauchos y plásticos, entre otros. La cubierta de los crustáceos, el nácar de las valvas de los moluscos y los huesos de los vertebrados, todos poseen resistencia y elasticidad incomparables. No hay misterio. Se trata de la combinación de moléculas biológicas con compuestos minerales en una estructura ordenada y, a veces, periódica, con dibujos que se repiten, como los motivos de una alfombra.

camos y caracterizamos, las observamos al microscopio y estudiamos su geometría”, señala la investigadora. Una vez reunida toda esa información, la idea es generar un modelo que permita predecir la respuesta reflejada de esa estructura.

“Hasta ahora trabajamos con un escarabajo del sur de la Patagonia y Chile, que posee una estructura de multicapas, verde o marrón metalizado”, explica. El color varía según el ángulo con que se mire.

Skigin, en colaboración con la bióloga Cecilia Carmarán, docente en el Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental de la FCEyN, también está estudiando el color estructural presente en una especie de hongos, que presenta un puntillado multicolor al ser observado al microscopio.

“El objetivo es aprovechar y fabricar estructuras similares a las halladas en la naturaleza, y que permitan alcanzar un objetivo específico, por ejemplo, para el diseño de circuitos ópticos”, detalla Skigin.

### Como los caracoles

Pero la idea no sólo es copiar a la naturaleza en la estructura de los materiales sino también en los métodos de fabricación. Por ejemplo, ¿cómo hacen los caracoles para producir el nácar? Forman pequeñas plaquetas hexagonales de carbonato de calcio cristalizado que toman del suelo, y las apilan en capas, que luego compactan mediante una sustancia biológica: una proteína que forma un biopolímero elástico.

Ahora bien, los caracoles, para fabricar sus valvas, no necesitan un horno a 600 grados centígrados, sino que trabajan a temperatura ambiente. Para obtener re-

sultados equivalentes, los investigadores copian el proceso: trabajan a escala diminuta y a temperatura ambiente.

Galo Soler Illía, profesor en el Departamento QIAQF-FCEyN e investigador del CONICET en la Comisión Nacional de Energía Atómica (Cnea), desarrolla “materiales con estructuras complejas y propiedades que resultan de la interacción entre lo biológico y lo mineral”. Por ejemplo, cristales con poros pequeñísimos que multiplican al infinito la superficie donde pueden producirse reacciones químicas.

Para obtener esos poros, los investigadores fabrican un molde supramolecular con micelas, burbujas pequeñísimas de un polímero orgánico, similares a las que se forman cuando un detergente se mezcla con agua. “En este caso, las micelas son nanoobjetos que tienen el mismo tamaño, formadas a partir del ensamblado de moléculas más pequeñas”, subraya Soler Illía.

Luego incluyen un compuesto mineral, que forma un óxido alrededor de las micelas.

“Apilamos las micelas como si fueran naranjas, y luego chorreamos óxido sobre ellas. Sintetizamos el material al igual que los caracoles: paso a paso, a partir de moléculas y a temperatura ambiente”, describe.

El hecho de trabajar a temperatura ambiente permite que la matriz mineral se genere en presencia de moléculas biológicas, que son frágiles y se destruirían con el calor. Una vez que se formó la carcasa de óxido, se calienta el producto para destruir el polímero, de modo que sólo queda el material inorgánico perforado por pequeñísimos poros nanométricos, como si fuera una esponja de vidrio.

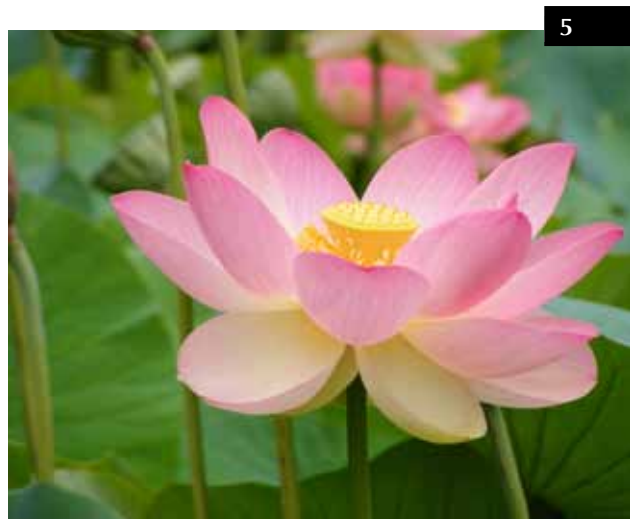




3



4



5

Inspirado en las mariposas y los caracoles, el equipo que lidera Soler Illia diseñó un dispositivo que, al interactuar con la luz, permite detectar la presencia en el aire de moléculas específicas, por ejemplo, un gas tóxico. “Se trata de cristales recubiertos con una fina película de un óxido con poros regulares del tamaño de unos pocos nanómetros –la millonésima parte del milímetro–”, explica Soler Illia. Esta porosidad le confiere al material una gran superficie expuesta: por ejemplo, un gramo de óxido de silicio tiene entre 600 y 1000 metros cuadrados de superficie disponible para reaccionar con cualquier sustancia con la que entre en contacto.

El dispositivo, un pequeño ladrillo iridiscente, es lo que se denomina un cristal fotónico (por fotón, partícula de luz). Cuando la luz incide en él, se produce un efecto de difracción e interferencia, y el cristal sólo refleja luz de un color, que depende del índice de refracción de cada uno de los componentes: el sustrato y la película que lo recubre. El desarrollo constituye la tesis de doctorado de María Cecilia Fuertes, y cuenta con una patente compartida por el Conicet y el Instituto de Ciencia de Materiales (ICM) de Sevilla, España, pues participó un investigador de ese instituto, el argentino Hernán Míguez.

Cuando dentro de los poros de ese cristal se condensa un vapor o se deposita una gota de una sustancia determinada, el índice de refracción se modifica y, por ende, cambia el patrón de colores. Así se podría detectar la presencia de vapores tóxicos en el ambiente. El cambio en la luz es percibido por un sensor que podría, por ejemplo, activar una alarma, a la distancia. Lo interesante es que estos materiales transmiten información a través de la luz, en lugar de la electricidad, evitando así el uso de cables.

Otro material inspirador es la membrana de las células, que contiene túneles por los que pasan, en forma selectiva, ciertas moléculas, mientras que otras tienen el acceso vedado. “Fabricamos unos coladores de material inorgánico, y tapizamos los agujeros con un polímero orgánico para que permita entrar a determinadas moléculas y les impida el paso a otras”, comenta Soler Illia. A temperatura ambiente, el polímero se pliega, disminuye su volumen, y el poro se abre. A mayor temperatura, se expande y cierra el poro. “Esos poros serían como tranqueras moleculares”, compara. En el trabajo de tesis de Alejandra Calvo, se desarrolló una membrana que reacciona de manera selectiva al pH del medio.

Soler Illia, junto con Martín Bellino, en su laboratorio de la CNEA, desarrollaron una delgada película cerámica que tiene atrapada en sus poros una gran cantidad de moléculas de polimerasa, la enzima encargada de copiar el ADN en el núcleo de las células. El pequeño dispositivo desarrollado permite multiplicar un fragmento de ADN, del mismo modo que la técnica denominada PCR (reacción en cadena de la polimerasa), empleada para hacer diagnósticos, hallar al culpable de un crimen, o determinar la paternidad.

“Queríamos demostrar que podemos armar un compuesto híbrido orgánico-inorgánico que conserve su funcionalidad biológica, y que pueda albergar una enzima compleja y frágil, como la polimerasa de ADN,” señala Soler Illia. En el trabajo también participaron el doctor Alberto Regazzoni y el grupo de la doctora Hebe Durán (CNEA).

## MODELOS NATURALES

El ópalo, la tela de araña, la mariposa, el gecko y la flor de loto, algunos de los ejemplos de la naturaleza que los científicos usaron como modelo para distintos desarrollos de materiales.

### Como la flor de loto

No sólo su belleza hizo famosa a la flor de loto, sino también la propiedad que tienen sus hojas de limpiarse a sí mismas. En efecto, esta planta acuática, a pesar de vivir rodeada de fango, tiene sus hojas siempre brillantes debido a las moléculas hidrofóbicas de la epidermis, que se compone de unas papilas pequeñísimas, de 10 a 20 nanómetros de ancho, recubiertas por una capa hidrofóbica. De este modo, las gotas de agua que caen sobre ellas, al ser repelidas, tienden a minimizar su superficie de contacto y alcanzan una forma esférica.

En consecuencia, las gotas redondas arrastran las partículas de suciedad y las barren de la superficie. Este “servicio” de limpieza es importante para la planta pues la mantiene libre de patógenos, además de conservar su capacidad de fotosíntesis al mantener libre la superficie expuesta a la luz. Este mecanismo pudo explicarse recién en la década de 1970 gracias a los modernos microscopios electrónicos.

Es claro que cuando se habla de biomimetismo es necesario pensar en una tarea conjunta de investigadores de diferentes áreas, sumando también el trabajo de ingenieros y arquitectos.

Históricamente, la naturaleza ha sido la fuente de inspiración de los artistas, ya fueran pintores, escultores o poetas. Hoy sirve de modelo para la ciencia y la tecnología. Las posibilidades parecen inagotables, y están al alcance de la mano. Sólo hay que saber observar. |



## Taxonomía

# La importancia de llamarse...

por Cecilia Draghi  
cdraghi@de.fcen.uba.ar

*Cuando un especialista se topa con uno de los millones de organismos que existen en el planeta y se plantea qué es, cuál es su relación con otros grupos en el árbol de la vida o qué características ubican a una especie en una clasificación y no en otra, seguro que el especialista es un taxónomo. En esta nota, una descripción de los aportes y desafíos de una disciplina con mucho para decir.*



“Hagamos un viaje al pasado. Recorramos 3.500 millones de años para ver cómo era la Tierra en ese momento. La atmósfera carecía de oxígeno, no existía la capa de ozono y violentas tormentas eléctricas azotaban el ambiente. Así, entre relámpagos y truenos, aparecía la vida sobre la Tierra, cuando una molécula compleja adquiría la capacidad de reproducirse y dejar descendencia con cambio (=evolución)”, invitó a imaginar tiempo atrás en una conferencia Jorge Crisci, profesor de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y agregó: “Comenzaba a escribirse la historia de la biodiversidad”.

...¿Y también con ella se iniciaba todo el trabajo que la sistemática biológica tendría por delante?, se le planteó hace unos días Crisci, premio Houssay 2009 a la trayectoria, que otorga el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a los más destacados profesionales de la ciencia de la Argentina. “La actividad de los sistemáticos es justamente clasificar esa diversidad biológica para entenderla, para generar un sistema de referencia que permita, incluso a otras disciplinas, estudiar la vida”, desliza.

La taxonomía es una subdisciplina dentro de la sistemática que, entre sus diversas tareas, describe, nombra y clasifica. La importancia del nombre no es menor. “Si no tienes el nombre, no tienes el conocimiento. Si tienes el nombre equivocado, tienes el conocimiento equivocado”, remarca Crisci.

Hasta el momento, los taxónomos ya llevan descritas 1.700.000 especies aproximadamente, pero según algunas estimaciones aún les resta identificar entre 8 y 9 millones más. “Se ha estimado que tardaríamos 500



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



J. Crisci

*“La actividad de los sistemáticos es justamente clasificar la diversidad biológica para entenderla, para generar un sistema de referencia que permita, incluso a otras disciplinas, estudiar la vida”, dice Jorge Crisci, Profesor de la UNLP y Premio Houssay 2009 a la trayectoria.*

años en clasificarlas, pero al nivel actual de extinciones causadas por la conducta humana, es posible que a fin de este siglo tengamos dos tercios menos de especies conocidas, y de las que restan conocer. De ahí la importancia de que haya taxónomos. Nadie puede salvar o conservar algo que no sabe que existe. La taxonomía es fundamental en la conservación”, remarca.

Ardua tarea lleva adelante esta disciplina, que en palabras del doctor Julián Faivovich, del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), “se ocupa del estudio, descripción y catalogación de la diversidad biológica, y de sus relaciones filogenéticas”. Es decir, investiga las relaciones de proximidad evolutiva entre las distintas especies, reconstruyendo la historia de su diversificación (filogenia), algo así como un árbol genealógico, desde el origen de la vida en la Tierra hasta hoy.

### Los primeros pasos

Desde que el hombre dio sus primeros pasos por el planeta, conjugó el verbo clasificar, según postula Crisci. Nuestros antepasados diferenciaron las plantas venenosas de las comestibles, los animales peligrosos de los mansos, y hasta a los amigos de los enemigos. Y no es el único ser sobre la Tierra que requiere discriminar para sobrevivir. “Un ratón que no distingue un gato de un pájaro, no tendrá por cierto una larga expectativa de vida”, plantea y señala: “El ser humano es un clasificador por naturaleza, incluso el propio lenguaje es un modo de clasificar. Por ejemplo, cada mesa que uno encuentra la denomina de ese modo y no le da otro nombre, porque usa conceptos que ayudan a enfrentar la realidad”.

Más allá de esta capacidad de reconocer similitudes o diferencias de lo que nos rodea por cuestiones domésticas, ya Aristóteles se había planteado clasificar los seres vivos con fines científicos. Por su parte, Teofrasto consideraba hacia el 200 AC que el número de “tipos” de plantas conocidas era de 480.

### Grandes saltos

Durante dos mil años, la taxonomía navegó aguas conocidas hasta que, a mediados del siglo XVIII, el naturalista sueco Carl Linneo dio un golpe de timón al crear un sistema de nomenclatura moderno, un lenguaje universal para clasificar con un orden jerárquico que actualmente, de menor a mayor, se constituye de las siguientes categorías: especie, género, familia, orden, clase, división (filum en zoología) y reino. “Por ejemplo, el hombre pertenece a la especie sapiens, al género Homo, a la familia Hominidae, al orden Primates, a la clase Mammalia, al filum Chordata y al reino Animalia. Este sistema jerárquico contribuyó notablemente a poner orden al desorden imperante en la clasificación biológica”, subraya Crisci, y compara: “En la época de Linneo se reconocían en total unas 9.000 especies de seres vivos. Actualmente, por año, se describen unas 10.000 especies nuevas”.

Otros saltos en el conocimiento fueron la teoría de la evolución de Charles Darwin en el siglo XIX, que “dio una explicación de los mecanismos que dan origen a la diversidad que estamos clasificando; y en el siglo XX el entomólogo alemán Willi Hennig propone un método para reconstruir la historia de la vida (filogenia) y que ésta se vea reflejada en la clasificación sobre el nivel de especie”, señala Crisci, profesor de Botánica Siste-

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

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

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

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

### DIRECCIÓN DE ORIENTACIÓN VOCACIONAL (DOV-EXACTAS)

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

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

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

### ■ Más información, consultas e inscripciones

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



UBA EXACTAS





Juan Pablo Vittori

### HISTORIA DE TRES MUJERES

Quando los taxónomos encuentran una especie nueva, tienen la tarea y el honor de ponerle el nombre. Esto le ocurrió al doctor Jorge Crisci, su esposa Liliana Katinas, también del Museo de la Plata, al igual que María Tellería. Ellos, con Francisco Jiménez Rodríguez del Jardín Botánico de Santo Domingo presentaron en sociedad a Salcedoa en la revista científica *Systematic Botany*. Se trata de una planta de unos 5 a 8 metros de alto, hallada en plena cordillera septentrional en la República Dominicana.

Tras los estudios de rigor se determinó que estaban ante un género nuevo. “Nuestro colega dominicano propuso llamarlo Salcedoa porque Salcedo era donde la especie crecía, y también el lugar donde el dictador (Rafael) Trujillo había matado a las hermanas Mirabal”, relata Crisci.

Patria, Minerva y María Teresa Mirabal fueron asesinadas un 25 de noviembre de 1960, y en su memoria, esa fecha es recordada como el Día Internacional de la No Violencia Contra la Mujer. “Siguiendo a nuestro colega, le dedicamos el nombre *Salcedoa mirabaliarum*. Cuando se enteró una hermana Mirabal sobreviviente, plantó un ejemplar de esa especie en Salcedo en homenaje a su familia”, concluye.

Herbario. “La taxonomía era la nave insignia de la biología hasta la década del 60, pero hace unos 30 ó 40 años comenzó una versión de que la taxonomía es puramente descriptiva, cuando no lo es. Utiliza la descripción, pero fundamentalmente es una hipótesis acerca del orden de la naturaleza”. Señala Crisci.

mática y de Biogeografía de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNLP e investigador superior del Conicet.

“La taxonomía era la nave insignia de la biología hasta la década del 60, pero hace unos 30 ó 40 años comenzó una versión de que la taxonomía es puramente descriptiva, cuando no lo es. Utiliza la descripción, pero fundamentalmente es una hipótesis acerca del orden de la naturaleza”, enfatiza, y ejemplifica con un insecto en que están basados ciertos estudios de la genética moderna: “El científico que experimenta con *Drosophila melanogaster* no tomó a todos los individuos, sino a 2, 3 ó 100; pero señala que este experimento lo hizo sobre esa especie. Este señor está usando la hipótesis de la existencia de la especie *Drosophila melanogaster*, porque hubo un taxónomo que elaboró la hipótesis de la existencia de esta especie y le dio nombre. El taxónomo le da al resto de los biólogos un sistema de referencia que ayuda a generalizar”.

En este sentido, al definir cuál es el principal aporte de la taxonomía a la ciencia en general, Faivovich, Jefe de la División Herpetología del MACN e investigador adjunto del Conicet, subraya: “Las nociones de diversidad biológica y taxonomía están ligadas en un continuo tan sutil que el recurso constante al conocimiento taxonómico se vuelve en muchos casos imperceptible para el usuario”.

### Deshojar la margarita

La colecta de muestras de especies en las salidas de campo, las visitas a museos para estudiar colecciones y las pruebas de laboratorio son algunas de las actividades cotidianas del taxónomo quien busca descartar que el organismo en cuestión ya hubiera sido descrito antes, o bien se halla ante una especie nueva. En este caso, se tiene la tarea y al mismo tiempo el honor de darle el nombre que siempre llevará dos palabras latinas. “Cuando uno encuentra algo nuevo, al darle un nombre, tiene la oportunidad de decir algo respecto al organismo que se describe, u homenajear a alguien”, relata Crisci. (Ver “Historia..”).

Desde hace años, las margaritas acaparan las miradas del doctor Crisci. “Funciona como una flor, pero son muchas en una. Evolutivamente, –resalta– esto es muy exitoso. Un insecto que hace la polinización, al visitar una margarita, visita varias flores juntas”. Él las observa, indaga en las clasificaciones hechas por otros investigadores, y las estudia con métodos simples como la lupa o el microscopio, más complejos, como el molecular. Y aquí se detiene para aclarar que, a su criterio, “el método molecular no es el aspecto central, es válido pero complementario del resto”.

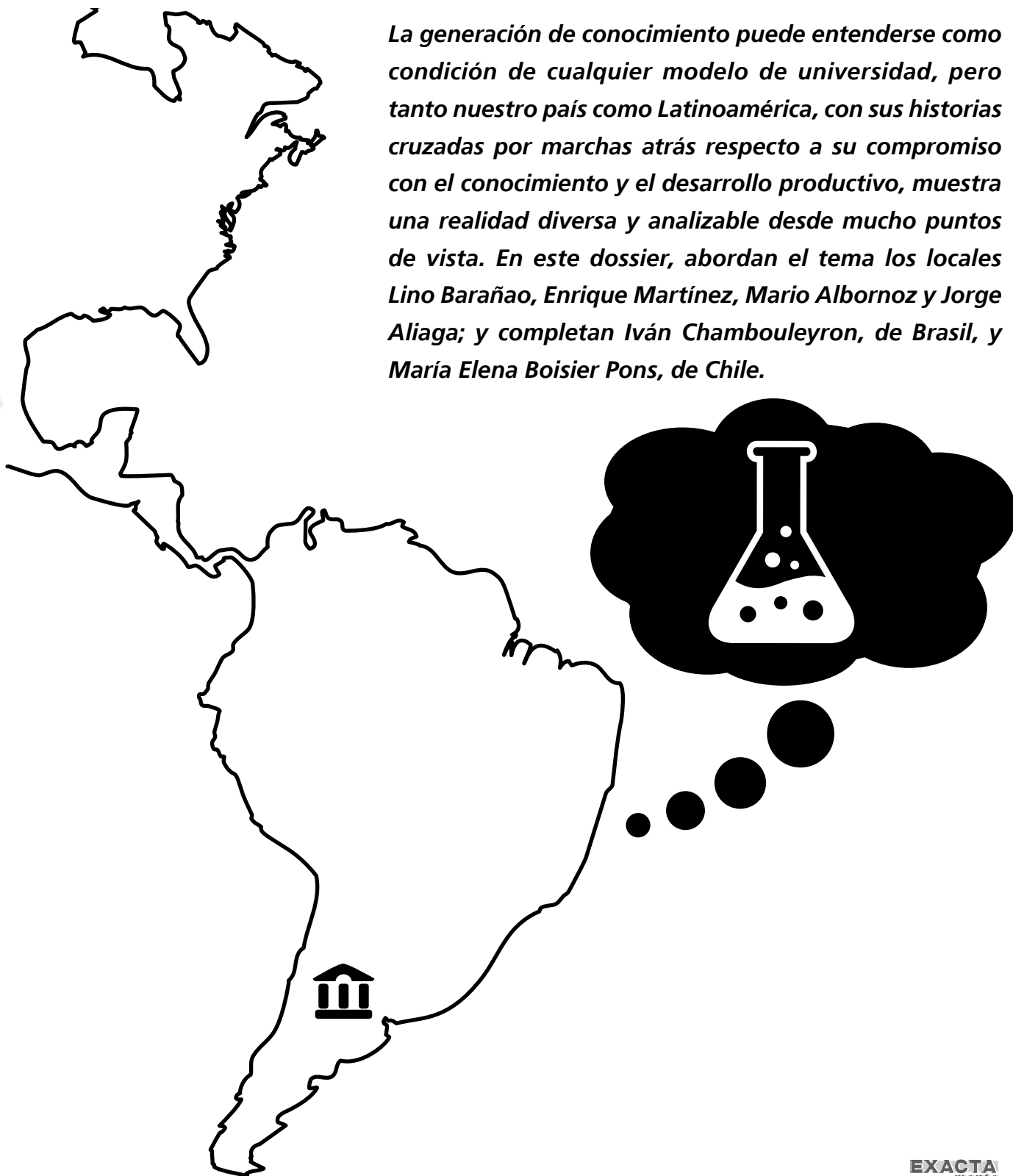
Mirando en prospectiva, Faivovich piensa que “el futuro de la taxonomía está íntimamente ligado al manejo de cantidades masivas de datos, y a la integración de nuevas tecnologías como la micro tomografía computada, que permite obtener y compartir con colegas información atómica de especímenes sin destruirlos”. Asimismo, destaca el “rol de las colecciones biológicas, que apunta a fortalecerse, gracias a una creciente concientización sobre su enorme valor, pero además porque cada vez es mayor la información que puede obtenerse de ellas”. Por su parte, Crisci menciona el proceso de informatización de la sistemática: “Hay intentos como *Tree of Life*, que busca reunir todo lo que se hace en filogenia en un solo sitio de Internet y presentar un árbol genealógico de la vida tal como se la conoce hoy día”.

Contra lo que habitualmente se cree, los taxónomos demuestran que siempre hay algo nuevo bajo el sol. Y no pierden la pasión por su quehacer. “Cuanto más se estudia, más sofisticación se descubre, y mayor es la admiración. Cuando usted descubre por qué la margarita en la historia de la vida fue reuniendo sus flores y cómo la selección natural fue eligiendo, el asombro es mayor”, describe Crisci, al tiempo que concluye: “Hace 3500 millones de años estábamos todos juntos en una molécula, y hoy somos 6500 millones de personas, más las plantas, animales, bacterias, la vida toda. Todos los días, la vida me sorprende”. |

# Política científica y universidad



*La generación de conocimiento puede entenderse como condición de cualquier modelo de universidad, pero tanto nuestro país como Latinoamérica, con sus historias cruzadas por marchas atrás respecto a su compromiso con el conocimiento y el desarrollo productivo, muestra una realidad diversa y analizable desde mucho puntos de vista. En este dossier, abordan el tema los locales Lino Barañao, Enrique Martínez, Mario Albornoz y Jorge Aliaga; y completan Iván Chamboleyron, de Brasil, y María Elena Boisier Pons, de Chile.*





# Un panorama de la UBA

Por Hugo Sirkin, secretario de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires.

*A lo largo de su historia, la UBA ha sido sede de importantes desarrollos científicos. Pero es recién a partir del retorno de la democracia que se establece una política sistemática de promoción de la investigación con la creación, en 1986, de los programas UBACyT y de Formación de Recursos Humanos.*



Pese a que estos instrumentos y otros que se fueron agregando sufrieron modificaciones dictadas por la experiencia, su persistente aplicación ha permitido generar un sistema científico sólido y diversificado.

Hoy la UBA cuenta con una planta de alrededor de 6.000 investigadores y 2.300 becarios trabajando en unos 2.500 proyectos que cubren las más variadas disciplinas.

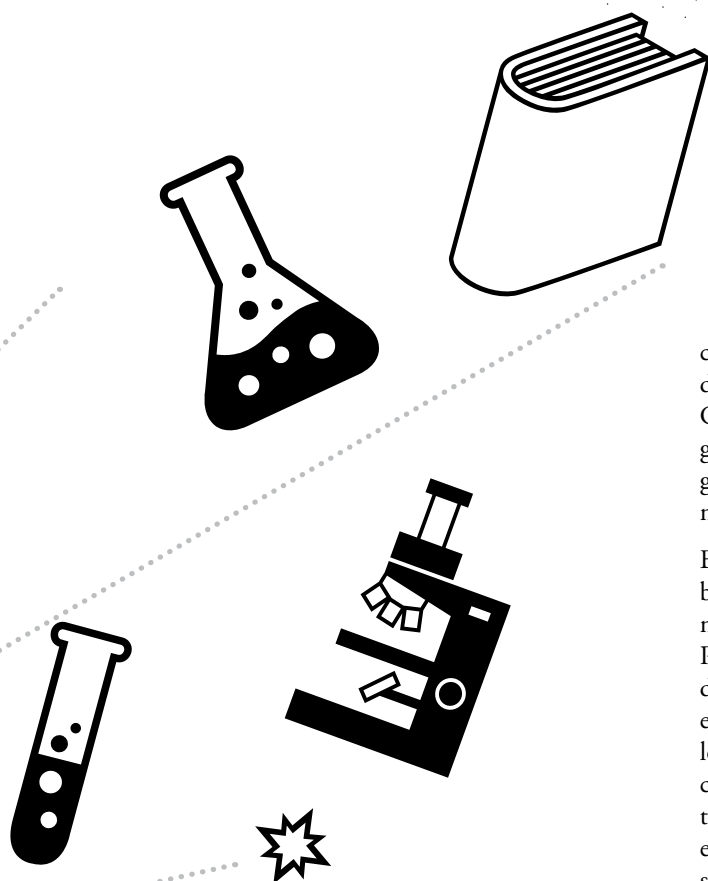
Parte de estas capacidades se encuentran localizadas en 41 institutos propios o de dependencia compartida UBA-CONICET. La posibilidad de los mismos de alcanzar una masa crítica de recursos humanos y tecnológicos, y su potencialidad para encarar actividades de carácter interdisciplinario los ubican en la primera línea del sistema.

Sin tener en cuenta sueldos y gastos de infraestructura, los recursos anuales que invierte la UBA en ciencia y tecnología supe-

ran los 40 millones de pesos con un incremento del número de proyectos en curso de alrededor del 10 por ciento entre programaciones. Un monto algo mayor, aunque variable, proviene de agencias nacionales.

Dada la estructura científica del país, con una parte fundamental de la misma ubicada en las universidades, otra menor en organismos estatales orientados a problemáticas concretas, y con una débil participación privada, le cabe a las Universidades Nacionales la responsabilidad primaria de promover el desarrollo de conocimientos básicos en las diferentes disciplinas.

Es por ello que la prioridad de la política en CyT de la UBA es consolidar y ampliar el sistema de investigación permanente y asegurar la formación de los recursos humanos necesarios. Al mismo tiempo y teniendo en cuenta el papel actual de la ciencia en la vida de las sociedades, se hace evidente la



necesidad de dirigir parte de estas actividades hacia requerimientos sociales y productivos concretos.

Por ello, la UBA ha creado tres programas orientados a permitir una contribución efectiva en áreas prioritarias a partir de integrar las capacidades existentes. Estos son los Programas Interdisciplinarios de la UBA sobre Cambio Climático (PIUBACC), sobre Marginaciones Sociales (PIUBAMAS) y sobre Energías Sustentables (PIUBAES). Esta modalidad de organización implica la colaboración de investigadores procedentes de diversas disciplinas y contempla, además, la vinculación y cooperación con organismos de gobierno y organizaciones sociales con vistas a la transferencia directa de sus resultados en el corto y mediano plazo. La convocatoria a la programación UBACyT 2010-12 contempla ya la presentación de proyectos específicos en estas áreas.

El PIUBACC muestra un nutrido balance de actividades, entre las que se destacan las Jornadas realizadas en 2007 y 2009, el Foro con la Representación de la Unión Europea sobre la Cumbre de Copenhague (2009), cursos para profesores secundarios de la Ciudad de Buenos Aires en el marco de un convenio con el Gobierno de la Ciudad (2008 y 2009), diversas publicaciones y participaciones en seminarios internacionales, la formulación de varios proyectos de investigación, etc. Dado el carácter pionero del Programa y el alcance de sus acciones, la UBA fue invitada a integrar la delegación oficial que participó en la mencionada cumbre.

A partir del PIUBAMAS se firmó un convenio con la Secretaría de la Niñez, Adolescencia y Familia para el desarrollo de dos proyectos de investigación: “Construcción de un Estado de Situación Sobre el Sistema de Protección Integral de Derechos de Niños, Niñas y Adolescentes” y “Construcción de un Sistema Integrado de Información Sobre las Políticas Públicas Dirigidas a la Niñez y la Adolescencia”. Asimismo, está a la firma un convenio

con el Ministerio de Desarrollo Social para la ejecución de otros dos proyectos: “Distribución Geográfica de las Comunidades y Pueblos Indígenas de la República Argentina” y “Estudios Conceptuales: Comunidad, Etnogénesis y Reetnización en el Contexto de los Determinantes Normativos”.

El PIUBAES ha diseñado el proyecto “Energía Sustentable en el Ámbito del AMBA (Área Metropolitana Buenos Aires): “Situación, Diagnóstico y Propuestas Para el Período 2009-2023”, en el que se consideran tres ejes de análisis: oferta, demanda, y marco político, jurídico, económico, social y ambiental. El trabajo incluye todos los sectores de consumo: transporte, industrial, residencial, comercial y público, y agrícola-ganadero; como así también todas las fuentes energéticas. Paralelamente, se está creando una Maestría de carácter interdisciplinario sobre el tema de la energía que comenzará en el 2010.

Por otro lado, la UBA ha participado activamente en el desarrollo del “Plan de Fortalecimiento de la Investigación Científica, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en las Universidades Nacionales” del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), uno de cuyos puntos centrales consistió en la organización de talleres temáticos sobre áreas estratégicas realizados entre los meses de mayo y septiembre del 2009 en distintas universidades. En esos talleres, docentes e investigadores de las UUNN analizaron por primera vez en forma conjunta y con una perspectiva interregional e interdisciplinaria aspectos esenciales de la realidad nacional: Energía, Salud, Medio Ambiente y Cambio Climático, Producción Agroalimentaria, TICs en Educación, Marginaciones Sociales, e Indicadores de Sustentabilidad.

De ellos han surgido diversas propuestas de alcance nacional y regional que han sido aprobadas por el CIN y llevadas al MINCYT con la idea de generar convocatorias específicas para el desarrollo de líneas de investigación cofinanciadas por ambas partes.

En consultas con la ANPCyT y con diversos ministerios, secretarías de estado y gobiernos regionales se ha comenzado a establecer prioridades en la amplia lista de temas que surgieron de los talleres. Es así que se ha diseñado la primera convocatoria de 21 proyectos de investigación PICTOS-CIN orientados en tres áreas: 1) “Indicadores de Sustentabilidad Aplicados a Producciones de Interés Regional”; 2) “Acceso a la Justicia, Realidades Regionales, Mapa de Problemas de Accesos Diferenciales”; y 3) “Gestión y Tratamiento de Residuos”, y se está trabajando con el fin de lanzar nuevas convocatorias en otros temas propuestos por los mencionados talleres.



# La ciencia y la técnica en tiempos de transformación social

Por Enrique Martínez, director del Instituto  
Nacional de Tecnología Industrial, INTI

El mundo está transitando, para muchos de manera inadvertida, por un tiempo de transformación que abarcará todas las facetas de la vida comunitaria.

Desde que alrededor de 1980 la huella ecológica global superó a la biocapacidad del planeta, generando una brecha que no deja de aumentar, se planteó un desafío que inicialmente era tema para algunos científicos, pero 30 años después, pone en jaque a todo decisor político, social o económico con algún grado de responsabilidad.

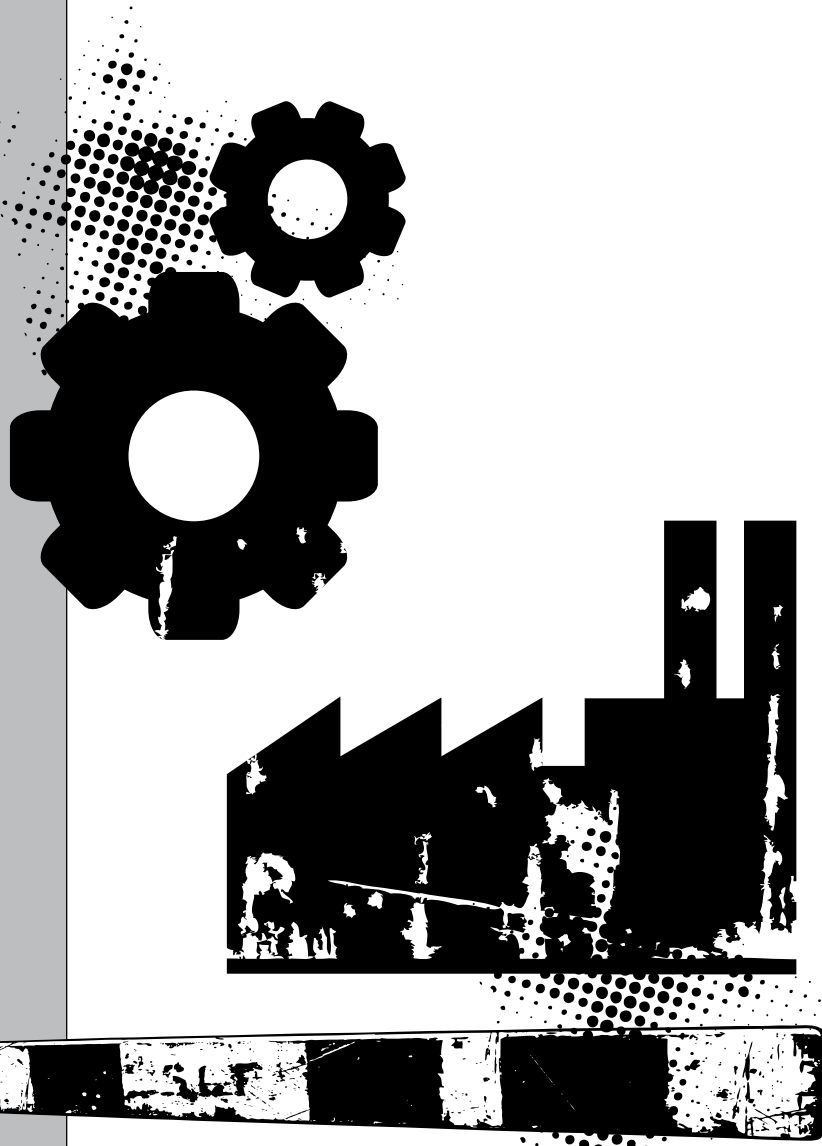
En efecto, la conciencia que la expansión de la actividad económica tiene un límite—superado el cual está el deterioro general— destruye literalmente el paradigma central del capitalismo globalizado, que sostiene que el crecimiento permanente ha de traer, en algún momento, el bienestar a todos los habitantes.

Si el ritmo de crecimiento debe adecuarse a las limitaciones del ecosistema, ya no puede prometerse a los pobres una mejor situación futura por el aumento en el número de panes. Pasa a ser actual y prioritario discutir cómo se consigue la justicia social en un sistema finito y al que además no dañemos —no achiquemos— con nuestras acciones.

La tendencia concentradora del capitalismo, en tal escenario, deja de ser una curiosidad atenuable con la expansión global, para pasar a ser un obstáculo para la vida de cada uno de nosotros.

Los objetivos —más que los métodos— de la ciencia y la tecnología no pueden permanecer inmutables ante tal cruce de caminos. La eficiencia en el uso de los recursos naturales es evidente que debe crecer en importancia en cualquier plan nacional.

En paralelo, debe avanzar, casi desde la nada, la discusión sobre cómo construir actores productivos que aporten a reducir la concentración de poder propia del capitalismo actual. Este concepto es obvio que tiene



aristas sociales. Pero también tiene aristas tecnológicas de primera magnitud. Lo local, lo pequeño, aquello al alcance de cualquier comunidad en cualquier geografía, ha ido perdiendo valoración social; luego perdió actores; para finalmente perder hasta las preguntas simples y básicas que llevan a innovar, a mejorar la eficiencia de la aplicación del esfuerzo humano en esa escala.

Hoy, por ejemplo, desarrollar una cosechadora arrastrada por un tractor mediano, que puede costar la décima parte de una cosechadora automotriz y que resuelve el problema de cosecha de decenas de miles de pequeños productores, es un hecho paradójal. Por un lado, es recuperar una tecnología que en buena medida estaba vigente hace 60 años. Por otro lado, es claramente una innovación, porque no quedan siquiera rastros intelectuales de los anteriores fabricantes. Este tal vez sea un caso extremo. Pero procesar leche, oleaginosas o cualquier fruto de la tierra a escala familiar o plurifamiliar, con eficiencia y con cuidado por el ambiente, es un escenario deseable y posible a futuro, para el cual el bagaje de conocimientos aplicados al presente es realmente bajo en términos relativos. Lo mismo vale para casi cualquier producción de escala local o regional.

Las investigaciones sociales sobre los nuevos actores también serán centrales en el mundo que ya está, pero que se viene más y más. Será clave entender cómo producir sin buscar el beneficio como el fin excluyente, sino asumir el beneficio como una necesidad técnica de reproducción del capital, instalando que el objetivo de todo emprendimiento es en esencia producir un bien o un servicio que satisface una necesidad social.

La ciencia y la técnica del mañana serán responsables en alto grado de la construcción de nuevos tejidos productivos. Serán mucho menos diagnóstico —ya que casi todos se han hecho— y mucha más propuesta de nuevos caminos.

Hay una razón central para este protagonismo jerarquizado que me parece necesario explicitar una y otra vez. Las transformaciones sociales del pasado han tenido a las cuestiones tecnológicas solo como motor oculto. En la subjetividad de los protagonistas en realidad se discutieron espacios de poder, a escala nacional o a escala de una unidad productiva.

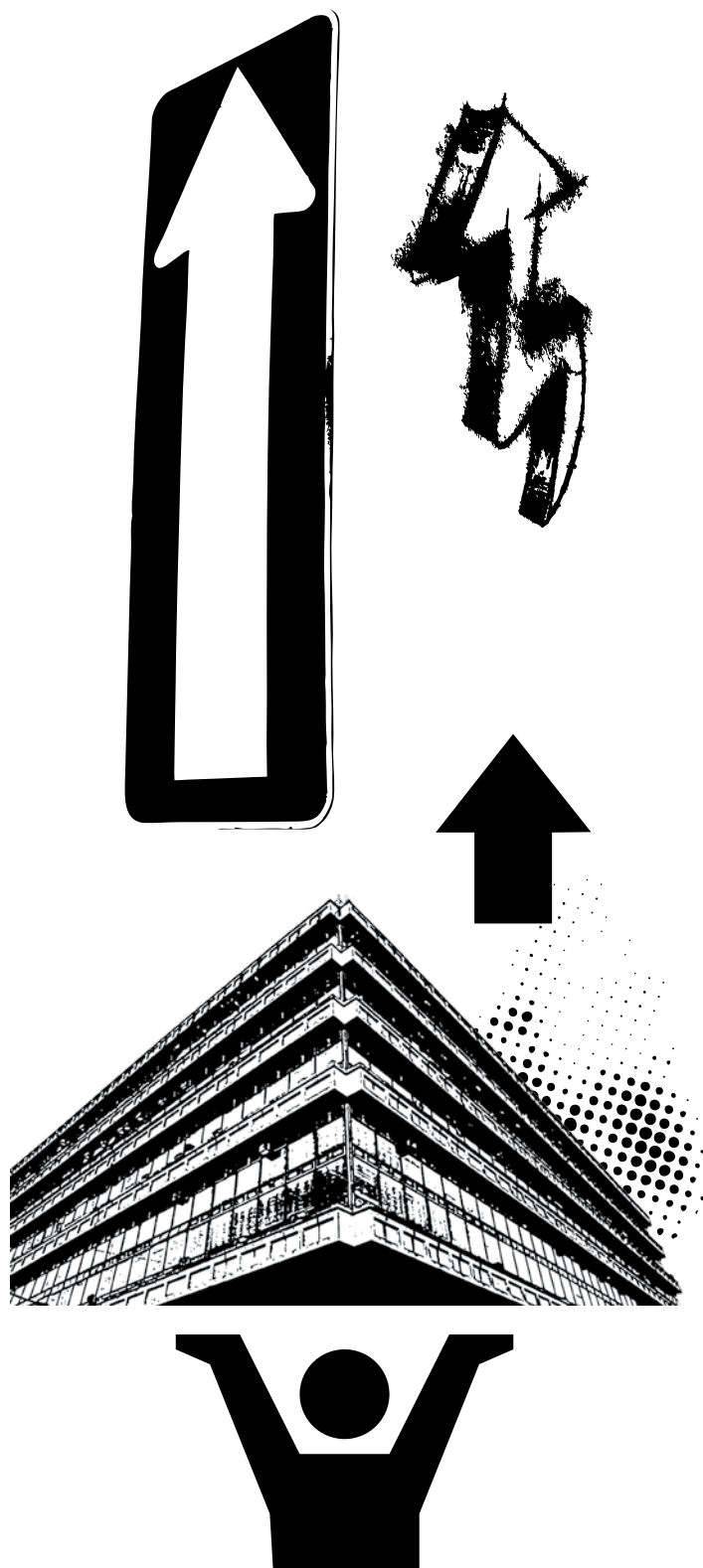
Para adelante es distinto. El planeta comienza a quedar chico. Las soluciones para evitar esa restricción ineludible son ante todo técnicas. Pero hay una suerte de dos planos en cascada. Si se evita dañar el planeta, pero se mantiene la estructura de poder económico concentrado, probablemente los pobres estarán aún peor que ahora, porque ni siquiera tendrán la ilusión de que el crecimiento permanente los ayudará, ya que el ritmo de crecimiento necesariamente debe disminuir. En tal sentido, otra vez aparecerán la ciencia y la técnica y, esta vez, sobre todo las disciplinas sociales, que deberán suspender su crítica al capitalismo concentrado para dedicarse a entender y ayudar a entender por qué sistema se lo reemplazará.





# Un nuevo modelo de crecimiento

Por Jorge Aliaga, decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA

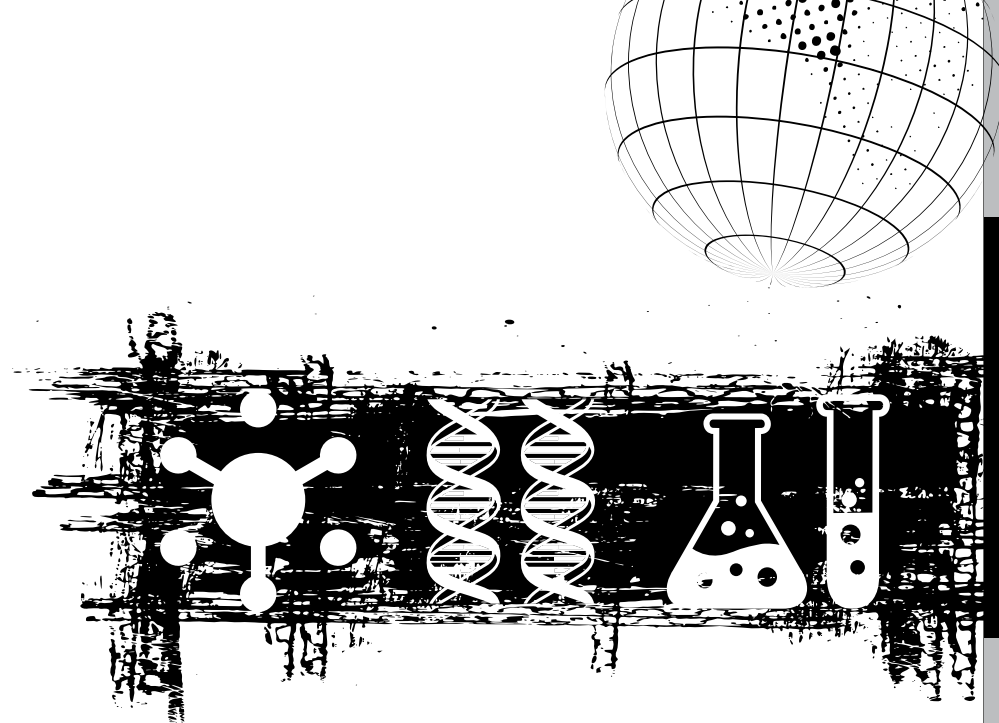
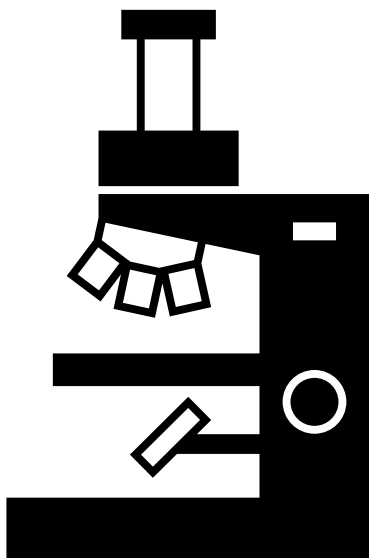


A doscientos años de su nacimiento, nuestro país todavía debate su modelo de crecimiento. Si bien, desde los inicios, Moreno, Belgrano y Castelli plantearon un proyecto basado en justicia, equidad, industria y educación, a lo largo de nuestra historia el modelo agroexportador se impuso. El proyecto de establecer una política de desarrollo industrial con ahorro interno que se impulsara por los primeros gobiernos peronistas (1945-1955) y luego por desarrollistas y radicales fue paulatinamente eliminado; primero, de manera gradual en 1966 y, luego, de forma brutal en 1976 y reemplazado por un modelo donde el patrón de acumulación estuvo basado en la valorización financiera. La sistemática aplicación de recetas neoliberales llegó al extremo, por ejemplo, de cerrar las escuelas técnicas, dado que no eran necesarias para ese proyecto de país.

En los últimos años, y luego del colapso en 2001 del modelo neoliberal de acumulación que habían puesto en marcha las dictaduras, ha crecido la percepción acerca de la necesidad de un proyecto de país que achique de manera sostenida las diferencias entre ricos y pobres, que ensanche la clase media, disminuya día a día la desocupación y la exclusión social, impulse el crecimiento de la industria nacional y del mercado interno, con un Estado presente tanto en la salud como en la educación pública.

Una Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de primer nivel es necesaria para este proyecto, y es suntuario en el modelo anterior. Eso es visto claramente en todo el mundo, tanto en los países más desarrollados como en los que intentan mejorar la calidad de vida de su población. No es casual que todos impulsen políticas para tener mayor cantidad de graduados en ciencia.

Pero para que se generen estos cambios en la sociedad no alcanza con cambios económicos circunstanciales, es necesario un proyecto de país de mediano y largo plazo. Este es uno de los principales desafíos a los que nos enfrentamos en este momento. No está claro que se haya generado consenso social mayoritario acerca de la consolidación de las políticas de desarrollo de los últimos años, transformándolo en política de Estado. Al menos los sectores progresistas deberían poder acordar los aspectos centrales con una mirada de 30 años por delante.



Suponiendo que efectivamente el modelo productivo de mediano plazo va a seguir considerando a la Ciencia y la Tecnología como estratégicas y prioritarias, entonces uno de los principales desafíos es cómo consolidar un Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) para que articule actores dependientes de los más diversos sectores del Estado. Brasil ha mostrado que eso es posible. En ese sentido, una de las mayores dificultades se encuentra en la interrelación entre los organismos que dependen directamente del MINCYT, como el CONICET y la Agencia, y el sistema universitario, que no solo depende de otro ministerio sino que además tiene autonomía. En ese sentido, deberíamos replantearnos la situación actual. El Estado tiene organismos ejecutores de Ciencia y Tecnología en temas específicos, como la CNEA, INTA, INTI, CONAE, SEGEMAR, INIDEP, INA, CITEFA, ANLIS, SMN, pero solamente uno forma la componente esencial del sistema, que son los recursos humanos: las universidades.

En la medida en que las universidades públicas se desentiendan del proyecto de desarrollo que impulsa el Estado, en el marco que le permite el concepto de autonomía entendida de manera absoluta, la vinculación con las políticas de Estado de Ciencia y Tecnología será imposible. La realidad histórica muestra que las universidades han sido diseñadas y desarrolladas para generar profesionales y los centros de investigación no suelen ser mayoría en sus órganos de gobierno. Por otra parte, resulta necesario que el CONICET, al menos para el caso de los investigadores con lugar de trabajo en universidades, vuelva a sus orígenes y se limite a un rol promotor. Esta es la situación, por ejemplo, en México, donde el CONACYT apoya a todos los investigadores del país, pero tiene unidades ejecutoras propias solamente fuera del sistema universitario.

En el caso de Exactas, nuestra Facultad es lugar de trabajo del 10% de los investigadores del CONICET de todo el país, pero no existe con dicha institución una colaboración real a nivel institucional, algo natural y necesario entre instituciones públicas. La mirada estrecha, acotada a las unidades ejecutoras, soslaya una rea-

lidad obvia: si en nuestros edificios se corta la luz, solo por dar un ejemplo, no puede trabajar nadie, sin importar si es agente de la UBA, del CONICET o de ambas instituciones. Las problemáticas generales escapan necesariamente a las posibilidades de un director de instituto y deben ser tratadas y resueltas entre instituciones.

Como consecuencia de una política de impulso a la investigación a nivel nacional, ha aumentado significativamente la cantidad de investigadores y becarios. En los últimos cinco años se han incorporado 250 nuevos investigadores a Exactas. Esta Facultad, al formar más del 20% de los Doctores del país, no puede dejar de cumplir un rol clave en el aumento de investigadores que impulsa el poder ejecutivo. Por lo tanto, otro desafío consiste en actualizar nuestra infraestructura edilicia y crecer. En los últimos cinco años, además del aumento de personal científico, se incorporaron más de 20 millones de pesos en equipos a través de PMEs. Anualmente, ingresan más de 10 millones de pesos en subsidios de Agencia, CONICET y UBA para que los investigadores desarrollen sus tareas.

Pero nunca se había invertido seriamente en el mantenimiento, actualización y crecimiento de los edificios. Por eso, Exactas lanzó el Plan de Obras 2006-2010: una iniciativa tendiente a resolver el atraso generado en este aspecto en los últimos 40 años. Se han realizado obras por más de seis millones de pesos con fondos aportados por el Ministerio de Educación, de Planificación, la Agencia, la UBA y en menor medida la propia Facultad. Hoy tenemos un relevamiento detallado de lo que falta y con pliegos listos para realizar obras por varios millones de pesos, en la medida que se obtengan los recursos. Estamos trabajando en un proyecto que nos permita solucionar la crisis de espacio que previmos hace cuatro años mediante la ampliación del Pabellón I de Ciudad Universitaria, que esperamos se pueda concretar en un futuro cercano.

Es necesario entonces consolidar los avances de los últimos años con políticas estratégicas que logren modificar muchas situaciones que hoy existen y que en la práctica conspiran con el objetivo planteado.

# La Universidad y sus representaciones

Por Mario Albornoz  
Coordinador de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT)

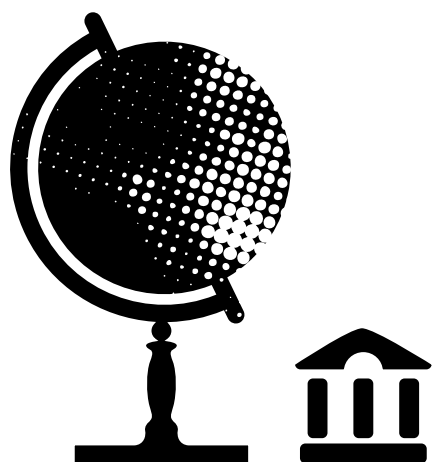
Desde que a principios del siglo diecinueve la reforma de la educación prusiana produjera la novedad de la universidad científica, ésta se incorporó al imaginario social como un ideal normativo: la universidad es la morada de la ciencia. Pero la realidad no siempre acompaña a los ideales (si es que alguna vez lo hace). Por un lado, no todas las universidades hacen honor a tal mandato y, por otro, no siempre los grandes lineamientos de política científica formulados por los gobiernos toman en cuenta adecuadamente a las universidades, ya que les resulta complejo vincularse con ellas.

Desde su reconfiguración en el marco del ideal moderno, las universidades han adquirido algunos rasgos específicos que las diferencian de otros ámbitos de producción de conocimiento científico y tecnológico. Tales rasgos, de los cuales es la autonomía el más “molesto” para el alineamiento político, dan cuenta de los objetivos institucionales de la universidad, generalmente reconocidos como el desarrollo de la investigación, la docencia y la extensión.

La universidad, como institución, es eminentemente polifacética y su desempeño se ajusta a determinadas visiones. Hay una representación muy extendida de la universidad como depositaria de una promesa de la modernidad: la racionalidad científica puesta al servicio del desarrollo del hombre y de la sociedad. La libertad de pensamiento y el espíritu crítico forman parte esencial de esta visión que, por







otra parte, concuerda con el estereotipo formalizado por Robert Merton del científico desinteresado y creador de conocimientos como bien común de la humanidad. No es esta la única visión: la universidad es también garante de la reproducción social de las profesiones. Esta representación está ampliamente arraigada en la historia de la universidad argentina del siglo veinte y ha sido percibida como una de las vías más eficaces de ascenso social.

Otro tipo de representación, propia de tiempos más recientes, corporiza una visión de la universidad inserta en el plano de la economía, como actora en el proceso productivo. En contraposición con la imagen desinteresada de la universidad científica, sin más apego que el amor por la ciencia, la imagen de la universidad como productora de tecnología o, en términos generales, de conocimiento aplicable, responde a la visión de que se trata de una institución utilitaria y de que la ciencia que allí se desarrolla debe atender demandas sociales y económicas. En esta representación de la universidad, los actores principales son el investigador aplicado, el tecnólogo y los agentes de la vinculación. El *ethos* es económico y productivista.

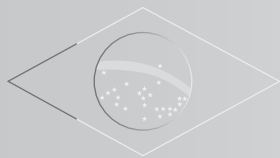
En los países industrializados, esta visión obedece a determinadas demandas de las empresas, reinterpretadas eventualmente por los gobiernos. Dicha demanda se ha traducido en la implementación de múltiples iniciativas destinadas a fortalecer en las universidades su capacidad de dar respuesta a los requerimientos de la sociedad. En Argentina, como en tantos otros países en desarrollo, la demanda de los sectores productivos ha sido escasa, no faltando quienes interpretan, a la inversa, que son las universidades las que deberían salir al cruce de potenciales demandas. Curiosa forma de intentar reproducir procesos invirtiendo su dinámica.

En los últimos años, la importancia que el conocimiento ha adquirido como insumo para el crecimiento económico y el desarrollo humano ha restablecido un lugar de privilegio para las universidades, aunque al mismo tiempo ha tornado más borrosos los límites entre sus distintas funciones. En la problemática universitaria europea se denomina como “tercera misión” a lo que se concibe como un nuevo modo de relación de las universidades con el medio social. No se trata

de la tradicional “extensión”, sino de algo que pretende ir más allá, involucrando también a la docencia y a la investigación. Quienes suscriben esta visión hablan también de una “universidad relacional”, integrada en un sistema distribuido de producción y transmisión del conocimiento en el que intervienen múltiples actores. Un escenario de tales características desdibuja los límites de cada función y necesariamente replantea la situación monopólica de las universidades, ya que otras instituciones, entre las que se cuentan las propias empresas, tenderán a ocupar crecientemente el espacio de la educación profesional. Quizás en este escenario el único espacio que todavía podría ser considerado como exclusivo sería el de la formación de posgrado con su inherente carga de investigación.

El escenario globalizado extiende los debates sobre la universidad a estas orillas, en momentos en que nuevas universidades surgen como hongos en un proceso de fertilidad que tiene a municipalizarse, en medio de una generalizada insuficiencia de recursos. No sé si vale la pena teorizar sobre los hechos consumados, pero sí creo interesante preguntarse por el modelo de universidad hacia el que tenderán los nuevos establecimientos. Quizás las concepciones más abiertas de la universidad relacional, con múltiples formas de conexión, puedan sustentar una mayor legitimidad social.

Si la política consiste en el arte de articular y conciliar actores e intereses concretos, la política científica tiene una tarea difícil con las universidades, ya que se requiere, como condición necesaria, aceptar la diversidad de modelos y trayectorias, desentrañando sus respectivas lógicas. Erraría quien supusiera que el papel de las universidades en la política científica debe ser concebido a imagen y semejanza de los núcleos de mayor excelencia. Pero erraría también quien imaginara lo contrario. Las universidades son un actor demasiado importante como para ahorrarse el esfuerzo de entender sus diferentes dinámicas superpuestas. Si los límites de las distintas funciones de las universidades son hoy más borrosos, lo mismo ocurre con los límites de la política científica y la política universitaria. Por eso es necesario pensarlas conjuntamente.



# Brasil: ciencia y exclusión

Por Ivan Chamboleyron, profesor del Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, SP, Brasil.

En los últimos meses los periódicos nacionales han anunciado importantes resultados de la ciencia brasileña. En particular, fue ampliamente divulgado el éxito del programa multiinstitucional de la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) en el desarrollo de técnicas de secuencia genética. Estos resultados nos enorgullecen y fueron muy aplaudidos en los ambientes científicos y políticos. Recientemente, el Ministerio de Ciencia y Tecnología anunció la creación de fondos especiales para apoyar laboratorios y centros de investigación que, al menos en el ámbito federal, estuvieron muchos años sin una financiación apropiada. Esta nueva realidad de la ciencia brasileña ayudará a proyectar el país internacionalmente en algunas áreas.

Simultáneamente con estas buenas noticias, la gran prensa ha publicado los indicadores sociales del Brasil establecidos por organismos internacionales independientes que, en diversos *rankings*, comparan nuestra situación con la de otros países. A diferencia del quehacer científico, los índices que miden nuestro desempeño en salud, educación, alimentación, habitación, desempleo, prostitución infantil, violencia urbana y rural, etc., no son aquellos que nos gustaría tener. A pesar de haber avanzado tímidamente en algunas áreas en los últimos años, los índices muestran que el Brasil no está bien en su desarrollo social. Frecuentemente queda atrás de países que tienen un desarrollo científico, tecnológico e industrial muy inferior. Este “desastre” social está claramente asociado a una de las más injustas distribuciones de renta del planeta.

La pregunta que se plantea a científicos y ciudadanos responsables es: ¿Cuál es el papel (y el futuro) de la ciencia en un país con la problemática social del Brasil?

La inmensa mayoría de los profesores, científicos y dirigentes parece (o quiere) creer que el progreso del conocimiento científico en nuestras universidades, así como la innovación tecnológica en

nuestro parque industrial, ambos resultados del aumento de las dotaciones presupuestarias y de la creación de los ya citados fondos especiales, mejorará el desempeño social del Brasil en un futuro más o menos cercano. Sin embargo, hay razones para sospechar que únicamente este camino no llevará a la finalidad que todos pretendemos: hacer del Brasil un país avanzado y socialmente justo. Existen muchos países periféricos, inclusive en América Latina, que tienen una estructura social menos perversa que la nuestra y que no poseen un sistema de pos-grado y de investigación tan avanzado cuanto el brasileño.

La desigualdad social y el abandono de las clases menos favorecidas no son la consecuencia directa del atraso científico y tecnológico. La naturaleza de los graves problemas que afligen a la sociedad brasileña no requiere una ciencia de punta para su solución. La ciencia y la tecnología existentes en este momento podrían, con voluntad y determinación política, resolver estos problemas satisfactoriamente. Aclaremos aquí que no pretendemos negar el mérito del esfuerzo científico hecho en el ámbito de la ciencia avanzada, ni tampoco desmerecer las políticas de financiamiento. Este esfuerzo es saludable y necesario. Solo constatamos que parece un simple ejercicio intelectual imaginar que lo que no fue resuelto con el conocimiento existente desde hace décadas será resuelto, como por arte de magia, con el conocimiento futuro.

Otro aspecto del problema que todavía no ha recibido mucha atención en este debate es el relacionado con la educación, ingrediente necesario y fundamental para el desarrollo. El avance de la tecnología exige obreros y funcionarios con un grado de escolaridad muy superior al que el Brasil precisó para sustentarse económicamente hasta el momento. Para competir en el mercado mundial es necesario aumentar el nivel de escolaridad de nuestro pueblo. En este aspecto la situación del Brasil es muy diferente. Con un sistema educacional deficiente, que apenas atiende con eficacia un peque-

ño sector de la población, la búsqueda y el aprovechamiento de la inteligencia nacional, distribuida estadísticamente en toda la población, es realizada en mares poco profundos.

Los números, ampliamente difundidos, muestran que el Brasil desperdicia una parte considerable de su potencialidad. Cada niño fuera de la escuela es una oportunidad perdida. Cada joven fuera de la universidad amenaza el futuro. Invertimos mucho en un sector privilegiado, particularmente en la enseñanza superior. Sólo podremos contar con este sector en el futuro, pues dejamos atrás millones que merecían la oportunidad de mostrar su creatividad, su empeño o su espíritu emprendedor.

Estas consideraciones nos llevan a la pregunta inicial. ¿Será posible desarrollar una ciencia avanzada sin incorporar todo el Brasil en ella? Es poco probable. No se conocen países que hayan alcanzado un alto nivel científico y tecnológico sin haber incorporado a toda su población en la tarea. Invirtiendo masivamente en la cima de la pirámide podremos tener algunos éxitos, inclusive grandes. Algún premio Nobel, quizás. Pero, sin la debida consideración de la base de la pirámide social no tendremos un país avanzado y, mucho menos, justo.

La profunda brecha que hoy separa aquellos que todo lo tienen de aquellos que nada poseen se ensanchará y deberemos aumentar la altura de la cerca que hoy nos aísla. Con seguridad, nadie está interesado en esta perspectiva. La tarea que enfrentamos es inmensa, y no es sólo deber del gobierno. Toda la sociedad deberá movilizarse para revertir este cuadro. Cuanto antes suceda, mayores serán nuestras chances en el futuro.

*\*Artículo publicado en la Folha de São Paulo, Brasil, en mayo de 2000, traducido por el autor para EXACTAMENTE con la aclaración de que “el tema del artículo es de permanente actualidad en el contexto latinoamericano”.*



# Chile: innovación y futuro

Por María Elena Boisier Pons, presidenta de CONICYT

A pocos meses de cumplir doscientos años como nación independiente, los chilenos nos planteamos una serie de desafíos asociados a nuestro desarrollo futuro. Una de estas interrogantes se refiere a los beneficios de invertir en el apoyo a la investigación científica y tecnológica.

Todas las experiencias de países que han alcanzado el desarrollo, nos están mostrando que este ámbito es una herramienta fundamental para construir colectivamente –en un esfuerzo que involucra a todos los sectores– una sociedad y una economía basadas en el conocimiento, destinadas a mejorar la calidad de vida del país en su conjunto.

Chile no se ha quedado atrás en estos esfuerzos y, por primera vez, el país cuenta con una Estrategia Nacional de Innovación que establece líneas de acción que buscan fortalecer las capacidades para crear, adaptar y adoptar nuevos saberes y tecnologías, lo que es esencial para avanzar en el progreso social, económico y cultural del país.

Los elementos de dicha estrategia fueron propuestos por un Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC) –independiente del ejecutivo–, mientras que su formulación definitiva e implementación ha sido responsabilidad de un Comité Interministerial para la Innovación (conformado por los ministros de Economía –quien lo preside–, Educación, Relaciones Exteriores, Minería, Agricultura y Hacienda).

En sus primeros años de implementación, este esquema ya ha comenzado a mostrar importantes beneficios, tanto en el fortalecimiento de las instituciones y programas públicos de apoyo a la investigación científica, como en el incremento, a niveles inéditos, de los recursos asignados a esta materia. Entre los años 2005 y 2010, el total de fondos públicos destinados a desarrollar y fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación chileno se incrementó en 193% real, pasando de

262 millones de dólares en el año 2005 a 765 millones de dólares en el presente año. Para ello, se han creado nuevos fondos públicos a partir de los excedentes fiscales productos del alto precio del cobre, como es el caso del Fondo de Innovación para la Competitividad (en el año 2006) y el Fondo Bicentenario de formación de capital humano avanzado (en el año 2009); y junto con ello, se promulgó una Ley de Incentivo Tributario a la Inversión Privada en I+D (en el año 2008). Esta franquicia tributaria está orientada a promover la participación del sector privado en las actividades de I+D, cuyo nivel en Chile aún es muy bajo en comparación con los países que se destacan por su innovación, llegando a sólo un tercio del gasto en I+D como porcentaje del PIB.

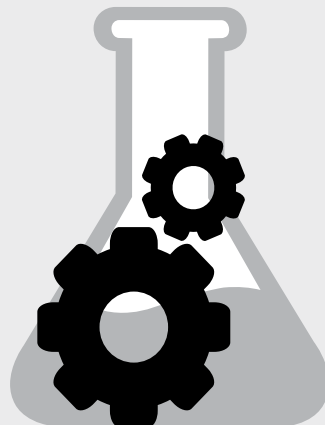
Por su parte, la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) del Gobierno de Chile, organismo encargado de que el país disponga de la masa crítica de investigadores y profesionales que requiere y de fortalecer la ciencia de base y el desarrollo tecnológico, ha experimentado el crecimiento de sus recursos en 3,3 veces en términos reales en el mencionado período. En el ámbito de la formación de los investigadores y profesionales, este período ha estado marcado por el crecimiento sin precedentes del número de becas de postgrado otorgadas. Entre el 2006 y 2009 fueron asignadas 4.033 becas para estudios tanto en Chile como en el extranjero, el triple de becas otorgadas en el período 2000-2005.

En términos de la base científica del país, los avances son evidentes y trascendentales. La creación de 6 nuevos centros regionales de investigación, permite que las 14 regiones de Chile cuenten con un centro científico y tecnológico orientado a investigaciones de su interés; el apoyo a más de 65 grupos nacientes de investigadores; la creación de 2 nuevos centros de investigación en educación; 5 consorcios tecnológicos empresariales y 13 centros científico-

tecnológicos de excelencia con financiamiento basal, son los antecedentes de un progreso sin precedentes. Gracias a ello, Chile cuenta con 37 nuevos centros de investigación de distinta envergadura, el doble de los existían hace 5 años atrás.

Por su parte, la investigación individual en todas las áreas del conocimiento también ha conocido un auge importantísimo en estos años. En el mismo período, el número de proyectos financiados por Fondecyt –el fondo tradicional de investigación de base– alcanzó los 2.400 proyectos, incluyendo la creación del Fondecyt iniciación, orientado a jóvenes investigadores fomentando su ingreso en el sistema. Los proyectos de I+D apoyados por Fondef –fondo que incentiva la vinculación entre la universidad y la empresa–, superaron las 200 iniciativas en el mencionado período. Todo lo anterior involucra una activa participación tanto de las universidades chilenas como también un aporte cada vez mayor del sector privado productivo.

El objetivo de agregar valor a nuestros productos a través del conocimiento y la innovación es una tarea que requiere, cada día más, de profesionales e investigadores de excelencia, para fortalecer nuestro sistema científico y tecnológico. En este sentido, invertir hoy día recursos orientados a la incorporación de más Ciencia, Tecnología e Innovación, es apostar decididamente al desarrollo económico, social y cultural de Chile.





# Universidad y empresa en el proceso de innovación

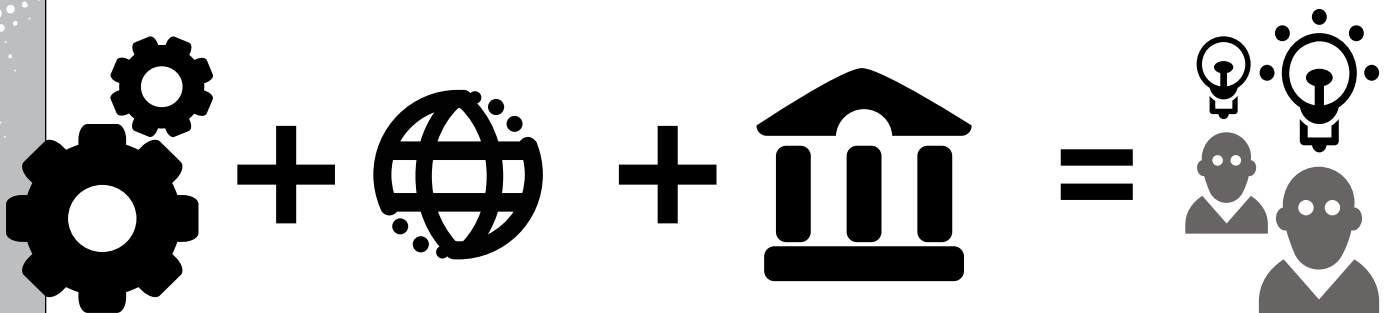
Por Lino Barañao, ministro de Ciencia, Tecnología e  
Innovación Productiva de la Nación

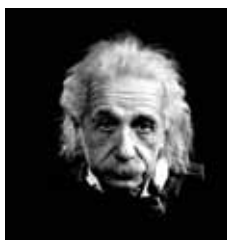
Una política científico tecnológica para el país es impen-  
sable sin una política acorde de formación de recur-  
sos humanos en las universidades, de grado y postgrado. El  
objetivo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Productiva es acoplar de manera efectiva la generación del  
conocimiento a la creación de puestos de trabajo de calidad,  
fomentando así la inclusión social.

Debe destacarse que se ponen en juego funciones diferen-  
tes en los casos de la universidad y de la empresa. La pri-  
mera recibe fondos del Estado para generar conocimiento,  
el que se traduce en bienes y servicios a través de la em-  
presa. La finalidad de esta última es tomar los nuevos co-  
nocimientos y convertirlos en innovaciones productivas.  
Ambas funciones no son viables dentro de la misma insti-  
tución, por eso es necesario que una y otra conserven sus  
roles específicos pero mantengan una interacción fluida.  
En este sentido, hemos introducido una reglamentación  
de la Ley de Innovación que permite a las universidades  
participar en las empresas. Esto transparenta la relación  
de los investigadores universitarios en el ámbito privado y  
además es una forma de garantizar que los desarrollos tec-  
nológicos que se efectuaron con fondos públicos permanez-  
can en el país. También contribuye a que los productos  
o servicios desarrollados tengan un costo compatible con  
el hecho de haber sido generados con fondos públicos, de  
modo que los habitantes del país puedan acceder a bienes  
y servicios financiados con sus impuestos.

En los países desarrollados se ha dado un debate profundo  
sobre el nuevo rol de la universidad y en muchos casos se  
llegó a la conclusión de que las universidades tienen que  
asumir un rol activo en el proceso de innovación. Es decir  
que se necesita incorporar conocimiento en las actividades  
productivas y contribuir a la creación de empresas de base  
tecnológica que permitan generar empleo para sus egresados  
y para el personal con menor capacitación.

Desde el Ministerio, estamos interactuando con el sistema  
universitario en distintos niveles. Hemos introducido el Pro-  
grama de Formación de Gerentes y Vinculadores Tecnológicos  
(G-TEC), que tiene como objetivo generar traductores entre  
el sistema tecnológico y el productivo. Creemos que esto cons-  
tituye un paso importante que va a permitir un flujo más  
efectivo de los conocimientos hacia sectores demandantes  
de innovación. Además, estamos promoviendo la creación  
de empresas de base tecnológica, a partir de un instrumento  
denominado EMPRETECNO, con una nueva modalidad:  
financiamos asociaciones público-privadas para el gerencia-  
miento de proyectos innovadores que eventualmente conclu-  
yan en empresas que puedan salir al mercado de capitales. La  
idea es que se subsidien los costos de funcionamiento y luego  
se otorgue un bono o tasa de éxito para los proyectos que lo-  
gren graduarse en este proceso. Se trata de una política distinta  
a la implementada en el pasado, la que consistía en financiar  
incubadoras de empresas con proyectos fundamentalmente de  
infraestructura y no tan centrados en el gerenciamiento.





## Albert Einstein tenía razón

Dos estudios independientes dados a conocer últimamente –ambos usando los datos recolectados por el observatorio orbital de rayos X Chandra (NASA)– probablemente pasen a convertirse en las más contundentes comprobaciones de la Teoría de la Relatividad General. La conclusión es que, a casi cien años de formulada, la teoría einsteniana no tiene rivales y es un paradigma inigualable de explicación de la realidad por medio de la abstracción matemática y de asombroso correlato con observaciones realizadas con la más alta tecnología experimental. La nota completa, en el blog.

## Analemma

El analema es una definición astronómica: indica el “dibujo” que describe el sol en el cielo a en su recorrido anual si lo observamos desde un mismo lugar a una misma hora. Registrar ese dibujo no es una novedad en el mundo de la ciencia, pero sí lo fue para los chicos del Jardín Maternal de Exactas, que hicieron la experiencia guiados por un físico. La experiencia consistió en que los chicos marcaran cada miércoles a las 15.00 horas un punto en el suelo a partir de la sombra proyectada por una estaca. Después de pasado un año solar, ya estaba listo “el dibujo”. A partir de esta experiencia, el Centro de Producción Documental de la Facultad realizó un video que está disponible en nuestro blog.

En esta sección presentamos algunos de los post que pueden leerse en nuestro blog. Encontrá estos temas y mucha más información en: [revistaexactamente.wordpress.com](http://revistaexactamente.wordpress.com)

## Calendario Maya

En el número 44 de EXACTAMENTE, artículo “El argumento del Juicio Final”, la cita del historiador de la ciencia de Harvard Gerald Holton declara: “Que el futuro del Universo no pueda ser calculado al detalle, no significa que no podamos hacer predicciones sobre él”, y agrega: “si seguimos el estilo de Halley para predecir; es decir, continuamos basándonos en teorías científicas exitosas, hasta se podría haber anticipado la tragedia del Titanic”. A partir de la maquinaria hollywoodense de la película “2012”, hace algunos meses se desencadenó la fiebre de las profecías mayas. Siguiendo la línea de Holton, en el blog de nuestra revista, una serie de consideraciones al respecto en la pluma de Guillermo Mattei.



## La science mira al sur

Alberto Kornblihtt, profesor e investigador la Facultad, fue designado miembro del Board of Reviewing Editors de *Science*, la prestigiosa publicación de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia. En el blog de EXACTAMENTE, posteamos una entrevista que le realizó el periodista de nuestro staff Gabriel Stekolschik para la publicación semanal de la Facultad, *el Cable*, donde cuenta cómo es la cocina de una de las dos revistas más consultadas por los científicos de todo el planeta.

## Todas las EXACTAMENTE en un sólo lugar

Desde el blog [revistaexactamente.wordpress.com](http://revistaexactamente.wordpress.com) puede accederse a los números de EXACTAMENTE en su versión digital, y se pueden consultar en forma totalmente gratuita.

[revistaexactamente.wordpress.com](http://revistaexactamente.wordpress.com)

Francisco Ayala

# Dios es un chapucero

Por Susana Gallardo | [sgallardo@de.fcen.uba.ar](mailto:sgallardo@de.fcen.uba.ar)  
Fotos: Paula Bassi

*Este biólogo especialista en evolución nació en Madrid y se nacionalizó estadounidense. Estudió en Salamanca y se ordenó sacerdote dominico en 1960; en 1961 se marchó a Estados Unidos, donde reside. Allí se doctoró en la Universidad de Columbia (1964). Actualmente, investiga y ejerce la docencia en la Universidad de California en Irving. Es miembro de la Academia de Ciencias de EE.UU., fue asesor científico del presidente Clinton y presidente de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias, que edita Science. El último de sus libros publicados es Darwin y el diseño inteligente, donde sostiene la tesis de que no hay contradicción entre la ciencia y las creencias religiosas. También se dedica a la vitivinicultura en sus viñedos de California.*



## ¿Cómo surgió su vocación científica?

Mi primer contacto con la ciencia fue a los doce años, en la escuela. Las clases las daba un sacerdote, porque era un colegio religioso. Era una ciencia general, con un poco de todo: biología, física, química. Y me pareció fascinante. Soy el único en la familia que se dedicó a la ciencia, y he tenido una familia muy grande. Tampoco nadie ha sido profesor universitario.

## ¿Qué fue lo que lo atrajo de la ciencia?

El hecho de que siempre haya un problema que uno puede investigar y resolver, y obtener resultados sobre los cuales seguir edificando. Sobre todo, por la posibilidad de resolver problemas.

## Pero también lo atrajo la religión.

En Madrid había estudiado física, astronomía y astrofísica. Luego surgió la vocación religiosa, y durante cinco años cursé teología en la Universidad Pontificia de Salamanca, pero seguía interesado por la ciencia, y hacía investigación por mi cuenta en el laboratorio de un genetista, en los años 50. De hecho, descubrí dos nuevos mutantes de la mosca *Drosophila melanogaster*.



### De la física, ¿cómo pasó a la biología?

De la física pasé rápidamente a la evolución, y a la evolución humana en particular. En Madrid había dos genetistas muy reconocidos: Fernando Galán y Antonio Zulueta. Este último había hecho descubrimientos muy importantes en los años 30, fue el primero que demostró, en un escarabajo, que el cromosoma “Y” contenía material genético. Fui al laboratorio de Galán para hacer experimentos y aprender. Luego Zulueta me puso en contacto con Theodosius Dobzhansky, el genetista evolucionista más importante del siglo XX, primer autor, junto con Ernst Mayr y George Simpson, de lo que se llama la Teoría Sintética de la Evolución.

### ¿Fue a hacer el doctorado con él?

Zulueta le había escrito una carta sobre mí a Dobzhansky, y éste le tenía tanto respeto que me aceptó para que fuera a hacer el doctorado con él. Zulueta había trabajado en Caltech, en los años 30, y habían compartido el mismo laboratorio. Dobzhansky lo llamaba el viejo Zulueta, y le tenía respeto porque había hecho descubrimientos muy importantes, que ya no pudo hacer en España después de la guerra. Franco lo castigó y le quitó toda posibilidad de trabajar porque su hermano había sido el primer ministro de asuntos exteriores de la República, y su cuñado, presidente del partido socialista de España, aunque él nunca tuvo nada que ver con la política.

### Cuando retornó la democracia a España, ¿no quiso volver?

Pensaba volver, no tenía intención alguna de quedarme en los Estados Unidos. Pero Dobzhansky, mi mentor, no quería que volviera a España. Terminé el docto-



Diana Martínez

Ayala recibió el diploma de doctor Honoris causa de la UBA, de manos del decano Jorge Aliaga y del Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Lino Barañao

rado en el 64, y me ofrecieron un puesto de postdoc en la Universidad Rockefeller. Al cabo de dos años obtuve el puesto de assistant professor. Tres años después, en el 68, ya decidí quedarme en Estados Unidos. En España no iba a tener un puesto comparable. Después, con el correr de los años, me dieron ganas de volver, pero ya me había establecido, me había casado y habían nacido mis dos hijos.

### ¿Cómo es su relación con la Iglesia?

Tengo muy buenas relaciones con ella. Para la Iglesia no hay problemas con la teoría de la evolución.

### Entonces, ¿por qué hay tanta resistencia frente a la evolución, sobre todo en los Estados Unidos?

Porque allí están esos fundamentalistas cristianos que interpretan la Biblia literalmente y creen que, si el mundo se creó hace seis mil años, la evolución no tuvo tiempo para desarrollarse. Hay gente que tiene una actitud completamente ingenua respecto a esto, piensan que la evolución es contraria a las ideas religiosas, y no se dan cuenta de las implicancias blasfemas del creacionismo.

### ¿Creacionismo y diseño inteligente son lo mismo?

Lo que se denomina *diseño inteligente* es la versión actual del creacionismo. Es un creacionismo que está dispuesto a admitir que el

mundo ha existido durante cuatro mil millones de años. Pero consideran que hemos sido diseñados por Dios, que habría creado a todas las especies por separado. No se dan cuenta de que, si Dios ha diseñado a los humanos, evidentemente, es un chapucero, estamos muy mal diseñados. Por ejemplo, nuestra mandíbula no es lo suficientemente grande para albergar a los dientes, por ello nos tienen que sacar las muelas de juicio. A un ingeniero que hubiera diseñado la mandíbula humana lo habrían echado al día siguiente. Y así con todo lo demás.

### ¿Hay muchos ejemplos de esas “imperfecciones”?

Por ejemplo, el canal de parto de la mujer no es suficientemente grande para la cabeza del niño, y por esa causa han muerto millones de niños. Lo más chocante de todo, si uno lo piensa, es que más del 20 por ciento de todos los embarazos termina en aborto espontáneo debido a que el sistema reproductivo humano está mal diseñado. Veinte por ciento de todos los embarazos son más de 20 millones de abortos al año. Si el sistema reproductivo humano está diseñado por Dios, éste tiene que dar cuenta de esa cantidad de abortos. Los creacionistas convierten a Dios en el abortista mayor del mundo, además de hacer que parezca un chapucero.

### Entonces, nos creemos perfectos, pero no lo somos...

Uno puede empezar a mirar cualquier detalle, por ejemplo, la faringe y la tráquea están



comunicadas, es decir que la comida y el aire entran por el mismo lugar, lo que hace que podamos atragantarnos y morir. Por otro lado, la columna vertebral no fue diseñada para la posición vertical, y por eso tenemos los problemas que tenemos. También en el sistema reproductivo del varón, el recorrido que realizan los espermatozoides parece diseñado por Rudy Goldberg, un caricaturista americano que inventaba máquinas complejíssimas para realizar tareas muy sencillas.

#### ¿Los creacionistas tienen obras donde argumenten para sostener su idea?

Los pocos que escriben libros sobre el diseño inteligente son una media docena de personas. Y no se lo creen ni ellos mismos. Sólo hay dos casos de científicos, pero ninguno de ellos es evolucionista. Uno es Michael Behe, un bioquímico que escribió un libro que está traducido al castellano: *La caja negra de Darwin*. Y allí juntó todos argumentos para sostener que es imposible que haya mutaciones para dar lugar a la evolución. El otro científico que postula el diseño inteligente es también estadounidense, William Dembski, que es matemático, filósofo y teólogo.

#### Tal vez, el admitir la propuesta del diseño inteligente se vincule con un gran desconocimiento. ¿Qué opina sobre comunicar los temas de ciencia al público general?

No es fácil. Hay gente que lo hace muy bien. El problema es que la enseñanza científica suele ser muy limitada en la escuela, tanto en Estados Unidos como en España, y supongo que aquí también. Yo no he leído las noticias de ciencia en los diarios de la Argentina, pero en los Esta-

dos Unidos, con excepción de dos o tres diarios importantes, como el *New York Times* y el *Washington Post*, dedican más espacio a los horóscopos que a la ciencia.

#### El evolucionista estadounidense Niles Eldredge, que estuvo en 2009 en Buenos Aires, dijo que Darwin tardó en publicar su obra debido a su sentimiento religioso. ¿Usted qué opina?

Hay un componente de verdad en eso, su mujer era muy religiosa, pero su padre y su abuelo no lo eran. Darwin era más o menos neutro respecto de la religión, y de a poco se fue haciendo ateo o agnóstico. Un agnóstico es un ateo de saco y corbata, como digo yo; es alguien que es ateo pero que no se atreve a afirmarlo. En realidad, no se puede demostrar que dios no existe. Pero yo creo que la razón por la que Darwin tardó en publicar es completamente distinta. Si uno ve el diario que él publicó, puede observar que había llegado a la idea de la selección natural al año de haber vuelto del viaje en el *Beagle*. Se dio cuenta de que era una idea muy importante, y se refiere a ella como 'mi teoría'. Para él la evolución es la evidencia de la selección natural. La selección natural es la que explica el problema del diseño, que era lo que a la ciencia le quedaba por explicar. La revolución científica de Galileo y Newton había dejado a los organismos fuera de la ciencia, porque parecía evidente que el ojo está diseñado para ver, y la nariz para oler, entonces parecía que todo estaba diseñado por un relojero.

#### ¿Esa idea del relojero circulaba en la época de Darwin?

William Paley, en 1802 había publicado su apología del cristianismo en su obra *Teología Natural*, donde sistematiza el argu-

mento del diseño inteligente, que ilustra con la analogía del relojero. Eso fue antes de nacer Darwin y antes de que se publicara la obra de Jean-Baptiste Lamarck, en 1809, el primer trabajo importante sobre la evolución. Pero ese argumento también lo habían empleado los filósofos de la Grecia clásica y los teólogos cristianos, algunos como Santo Tomás de Aquino. Paley lo reelabora con los conocimientos biológicos que se tenían en ese momento.

#### ¿Darwin quería argumentar en contra del diseño inteligente?

Darwin sabía que para incluir a los organismos dentro de la revolución científica era necesario resolver el problema del diseño. Y no quería publicar sin estar convencido de contar con evidencias suficientes. Se puso a investigar los casos difíciles, como hacen los científicos cuando quieren confirmar una hipótesis. Pasó cuatro años estudiando los percebes, unos animales muy extraños, parientes de los crustáceos. En estado larval, estos organismos se mueven en forma libre en el mar, pero luego, en la etapa adulta, se adhieren a las rocas; el adulto es más simple que la larva. Después se dedicó a estudiar los gusanos de tierra, porque era difícil explicarlos por la selección natural. También estudió las orquídeas, que se pensaba que habían sido diseñadas para que fueran bellas.

#### ¿Entonces, Darwin tardó en publicar porque necesitaba evidencias para su teoría?

También quería asegurarse de que sus colegas estuvieran de acuerdo con sus ideas.

En 1842 escribe un tratado de 60 páginas, que era un resumen de lo que él quería publicar en varios volúmenes, y lo envía a varios científicos. Por eso, cuando recibe la carta de (Alfred Russell) Wallace, presenta, junto con aquél, un extracto de su obra en una reunión en Londres. Varios colegas de Darwin le habían aconsejado que lo publicara para establecer la prioridad. Pero la prioridad en realidad estaba establecida porque él astutamente ya lo había divulgado. Cuando Darwin dice que dar a conocer su teoría era como confesar un crimen, se refiere no tanto a la dimensión religiosa, sino



a la dimensión científica, porque su idea era totalmente revolucionaria.

### **¿Wallace no era un competidor de Darwin?**

A Wallace se le dan más créditos de los que merece. Si uno lee su trabajo, ve que no explica el diseño. El libro de Darwin está destinado a explicar la selección natural, y dedica muy pocos capítulos a la evolución, y sólo para demostrar que ésta ocurre de manera irregular y variable, y no progresiva. Mientras que Wallace cree que la selección natural es un proceso que explica el progreso indefinido. En cualquier caso, a Darwin se lo reconocía como gran autoridad en la materia, y había tenido ya varios intercambios con Wallace, donde le respondía preguntas y lo animaba. Wallace no descubre la selección natural, no la descubre como proceso que explica el diseño. No era un competidor de Darwin.

### **¿Qué nos falta conocer de la teoría de la evolución?**

Cuanto más se conoce, más queda por conocer. Parece una contradicción pero no lo es.

Lo voy a explicar utilizando una analogía, para mí nuestro conocimiento científico actual es como una isla, y lo desconocido es el gran océano. Si preguntamos por el océano, sólo podemos responder qué pasa en la orilla, no más allá. El conocimiento está en contacto con lo que no sabemos. A medida que el conocimiento crece, la isla crece, y la periferia es mayor, y también el número de preguntas. Hoy sabemos mucho más que Darwin, pero él supo lo más importante: cuál era el mecanismo de la selección natural.

### **¿En qué líneas considera que se va a fortalecer el conocimiento vinculado a la evolución?**

Un tema es llegar a conocer aquello que en el ADN nos hace humanos. Ahora sabemos que la diferencia entre el genoma humano y el del chimpancé es del 1,5 por ciento. ¿Cómo es que esa pequeña proporción nos hace tan diferentes? El segundo problema que me interesa es cómo el ADN se convierte en un organismo, cómo esa información lineal se transforma en un organismo de tres dimensiones en el espacio. La tercera es la transformación del cerebro en mente. Sabemos que las neuronas se comunican por medio de señales químicas y eléctricas, pero no sabemos cómo esas señales forman pensamientos, deseos, preferencias, creencias religiosas; ni sabemos cómo se forma la conciencia. Somos los únicos que tenemos conciencia, ni el perro ni el chimpancé la tienen. Es decir, llegar a saber cómo se transforman las conexiones físico-químicas de las neuronas en las experiencias mentales. Se está haciendo mucho progreso en las tres áreas, pero queda mucho todavía por conocer.

### **¿En cuál se está avanzando más?**

El progreso más rápido se está haciendo en el tema de la transformación de la información genética en organismos. Es lo que se conoce como “evo-devo”, evolución y desarrollo. Se reconoce como una nueva disciplina, en la que se está avanzando.

### **¿Usted en qué sigue trabajando?**

En problemas básicos de genética evolutiva: el origen de los genes y cómo se duplican, y trabajo mucho en problemas de evolución de protozoarios parásitos, como el de la malaria y el del mal de Chagas.

### **Al estudiar la malaria y el Chagas, usted tiene también un interés social.**

Siempre me han interesado los problemas políticos y sociales de la ciencia, he sido consejero de Bill Clinton durante los ocho años de su gobierno, y he sido presidente de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia.

### **¿Clinton lo escuchaba?**

En realidad formábamos un comité. Nos escuchaba, pero no con el entusiasmo y penetración que tiene (Barack) Obama. Clinton aumentó mucho la inversión en ciencia, Bush trató de disminuirla, pero no tuvo éxito, pues muchos de los conservadores saben que la economía norteamericana depende mucho del progreso científico. Obama ha empezado a aumentar el porcentaje de inversión, más que Clinton. Y el grupo de asesores científicos que tiene son muy buenos, en todos los puestos críticos.

### **¿Por qué nunca responde cuando le preguntan si sigue siendo creyente?**

No quiero que califiquen mis ideas sobre la relación entre ciencia y religión en función de mi religiosidad. Si soy religioso, algunos amigos míos como Richard Dawkins o Daniel Dennet dirán que mis afirmaciones se deben a mis creencias religiosas. Si resulta que no soy religioso, los fundamentalistas y creacionistas me dirán que digo lo que digo porque soy ateo. Pero mis ideas son independientes de mis convicciones personales. | ❏



El conflicto con Uruguay

# Exactas y el caso Botnia

***Más de cuarenta investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales aportaron datos y conclusiones a la presentación argentina en la Corte Internacional de La Haya. Los datos del río fueron considerados insuficientes para probar contaminación. Respecto al aire, la Corte consideró que la evaluación de esa variable no era de su jurisdicción.***

La Corte Internacional de la Haya, en su extenso fallo del 20 de abril pasado, dictaminó que no hay pruebas concluyentes acerca de la existencia de contaminación en río Uruguay por el funcionamiento de la pastera Botnia, por lo cual garantizó la continuidad de la planta. Los jueces tuvieron en cuenta los informes referidos a los efectos sobre las aguas del río Uruguay, aunque los consideraron insuficientes como prueba, y no tomaron en cuenta los informes relativos al aire por considerar

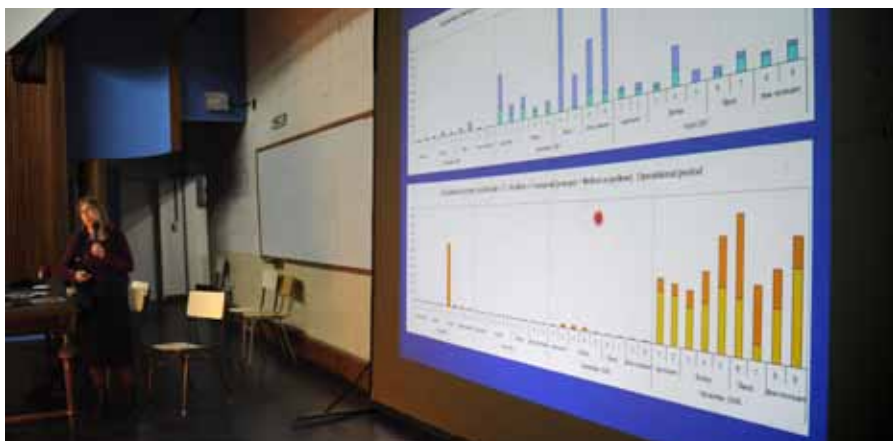
que no están contemplados en el Tratado del Río Uruguay, firmado en 1975 y origen de la disputa.

Por su parte, los informes técnicos de los investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales que participaron del relevamiento del río Uruguay –y que fueron fuente de los alegatos argentinos– indican que la actividad de la pastera no es inocua para el medioambiente y que no fue bien elegido el lugar de enclave.

Cuando en noviembre de 2006 una delegación de investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales viajó a Gualeguaychú para confirmar al intendente de la localidad entrerriana que comenzarían a establecer una línea de base del entorno del río Uruguay, la chimenea de Botnia ya estaba emplazada, aunque faltaban muchos meses para que comenzara a echar humo. La elaboración de la línea de base –que se puede entender como una “foto” de los parámetros biológicos, geoquímicos y atmosféricos en un momento determinado– fue propuesta con el objetivo de poder realizar comparaciones posteriores a la puesta en funcionamiento de la pastera. En vistas de un futuro conflictivo, Exactas se convirtió en la única institución científica que propuso realizar una línea de base de la zona de influencia de Botnia y la concretó a través del trabajo de varios equipos de investigación. Sin línea de base, no hubiera sido posible validar datos de contaminación o registrar cambios en el medio. Hasta la fecha, Exactas aportó el trabajo constante de 41 científicos de primer nivel, que analizaron las componentes de aire, medio bentónico, geoquímica y medio planctónico, entre otras variables.

Biólogos de Exactas llevan dos años realizando mediciones con la planta funcionando, registrando las principales variables físicas y químicas del agua, así también como fito y zooplancton. El equipo de limnólogos, encabezado por Irina Izaguirre, del Departamento de Ecología, Genética y Evolución, dio a conocer que “los resultados mostraron que en el período operacional algunas variables medidas presentaron importantes cambios, principalmente en la zona de influencia de Botnia”. En particular, los investigadores afirmaron que se detectó un aumento de la presencia de nutrientes, “evidenciado por un incremento de fito y zooplancton”.





Una vez conocida la sentencia, investigadores de Exactas presentaron en la facultad los datos que fueron incluidos en los alegatos del gobierno nacional ante La Haya.

registraron 1.800 denuncias. “Las mediciones de calidad de aire realizadas en Argentina mostraron valores por encima del umbral de detección de olor durante varias horas y las simulaciones realizadas confirman el ingreso de los contaminantes a nuestro país alcanzando la ciudad de Gualeguaychú.

El segundo caso se dio el 10 de febrero de 2009, con iguales comprobaciones que el de unos días atrás. Ambos eventos, junto con el análisis de otras situaciones en las que se detectó mal olor fueron presentados en el informe técnico entregado a la Corte de La Haya el 30 de junio de 2009.

El componente atmosférico fue contundente en las conclusiones, que se expusieron en los alegatos y hoy son documentos públicos de acceso libre en la página web de la Corte Internacional. “La pastera no debería haberse instalado donde está”, indicaron. “El emplazamiento de la industria no es el apropiado desde el punto de vista de la capacidad de la atmósfera para diluir contaminantes porque favorece su transporte hacia territorio argentino”. Lo anterior se fundamenta en el hecho de que la atmósfera de la región “presenta un volumen limitado para la dilución de contaminantes” y que “los vientos soplan hacia la Argentina en el 72 por ciento de los casos en los que no hay calma, favoreciendo las posibilidades de contaminación transfronteriza”.

Los datos, el análisis y las conclusiones están, tanto en lo referido a las aguas como al aire, aunque la Corte Internacional no las considerara como pruebas contundentes o pertinentes, según el caso. Después de la resolución del litigio, será necesario continuar con el monitoreo de la región (incluso la Corte solicitó que existe la instancia de control conjunto). Al respecto, Inés Camilloni indicó que “es imprescindible que continúe el monitoreo” y que “la decisión acerca de cómo seguirá desarrollándose el Plan de Vigilancia está a cargo de la Secretaría de Ambiente de la Nación, aunque es importante destacar que los científicos que han formado parte de este proceso mantienen su voluntad de continuar contribuyendo y aportando con su conocimiento en la evaluación de las condiciones ambientales en el área de Gualeguaychú”. |

A los limnólogos también les tocó analizar una aparición que llegó rápido a la tapa de todos los medios nacionales y trajo preocupación a los pobladores de Gualeguaychú: la ya famosa mancha blanca que se registró en las aguas el 4 de febrero de 2009. Ese día, las condiciones del río Uruguay eran calmas y, de acuerdo al registro de los investigadores, “la superficie del agua mostraba en ese momento un cúmulo flotante de varios kilómetros de superficie desde la zona frente a Botnia”. La “mancha” resultó ser una floración de algas verdeazules, conocidas como cianobacterias, cuya magnitud no tuvo precedentes para el canal principal del río Uruguay. “La abundancia de algas alcanzó 18 millones de células por ml, lo cual excede el nivel indicado por la Organización Mundial de la Salud como nivel de alerta 3, peligroso para la salud humana”. Esta abundancia de algas fue mil veces mayor que el máximo histórico registrado en el río Uruguay. “Cabe señalar que estas algas producen cianotoxinas que se liberan particularmente cuando hay roturas celulares como las que se observaron al analizar las muestras del cúmulo al microscopio”, indican los investigadores y especifican que, “combinados con la floración algal, se observaron productos que estarían asociados a los efluentes de la planta”. El Laboratorio de Anatomía y Embriología Vegetal de la Facultad pudo comprobar la presencia de fibras de celulosa que, de acuerdo a un posterior análisis con microscopía electrónica de barrido, correspondían a fibras de la especie *Eucalyptus globulus*, que es una de las especies de árbol utilizadas en la planta para la producción de pasta. De acuerdo al texto del fallo internacional, “no se logró probar que haya sido generado por los efluentes de Botnia”.

El aire también sufrió alteraciones una vez que la pastera entró en funciones y, más allá de que la variable atmosférica no haya sido tenida en cuenta por la Corte, existe

un informe al respecto y la delegación argentina lo incorporó en su alegato con la esperanza de que fuera considerado.

El equipo encargado del componente atmosférico de los estudios, encabezado por Inés Camilloni, investigadora del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, había determinado para la línea de base que “no se detectó sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) en el aire de la zona de influencia de Botnia” y que “las concentraciones de otros contaminantes medidos no superan las normas nacionales e internacionales de calidad de aire”.

Sin embargo, con la planta en marcha se detectaron cambios. “De acuerdo a las mediciones de la calidad del aire realizadas entre el 1ro de julio de 2008 y el 31 de marzo de 2009 sobre el sector argentino, se comprobó que en 78 días se detectaron valores de concentración de sulfuro de hidrógeno superiores al nivel de detección de olor durante una o más horas”. Si bien no es causante de trastornos severos a la salud, este sulfuro (de característico olor a “huevo podrido”) puede provocar molestias y, en particular, afecta la calidad de vida de los vecinos a la planta. Pero, ¿de dónde sale la emisión del sulfuro?

A través de simulaciones por computadora con un modelo atmosférico y un modelo de dispersión de contaminantes, se puede demostrar el “recorrido” de los contaminantes emitidos por Botnia. Durante las audiencias orales ante la Corte Internacional de Justicia se presentaron las evidencias del ingreso de la pluma de contaminantes en territorio argentino.

Los investigadores afirman que fue posible probar la situación para numerosos casos, dos de los cuales fueron especialmente referidos durante las audiencias orales ante la Corte en septiembre de 2009. El primero, un evento de olor en la ciudad de Gualeguaychú el día 26 de enero de 2009 durante el cual se

## Bicentenario en Exactas

# La ciencia en Mayo

Por Carlos Borches  
borches@de.fcen.uba.ar

“La gloriosa instalación del gobierno provisorio de Buenos Aires ha producido una feliz revolución en las ideas”, escribía Mariano Moreno en el prólogo a la versión en castellano de “El contrato social”, la obra de Rousseau que Moreno mismo tradujera para ser impresa pocos meses después de la Revolución de Mayo.

La elección de Rousseau no era casual. Este pensador suizo había expresado como pocos los ideales de libertad de un hombre que “nace libre, pero en todos lados está encadenado”, pero al mismo tiempo su voz no era un grito solitario, armonizaba en el coro del Iluminismo.

El Iluminismo fue un gigantesco movimiento intelectual que cuestionó todos los planos de la vida humana. Pugnó por la igualdad de derechos entre todos los hombres y encontró en la ciencia una antorcha y una promesa. La obra de Galileo y Newton habían reubicado al hombre en el mundo y presentaban un instrumento

para aumentar el conocimiento, conocimiento que se transformaría en riqueza y, en una sociedad más justa, prometía un camino de progreso ilimitado.

¿Qué tiene que ver todo esto con la Revolución de Mayo y la Facultad de Ciencias Exactas? Pues, si algo unía a los hombres de Mayo, entre tantas dudas, divergencias y cavilaciones, eran ciertos ideales iluministas que portaban con dispar intensidad, ideas que los llevaron a luchar por la libertad, la educación y las ciencias. Todo al mismo tiempo y sin dilaciones.

Tal es así que la propia Universidad de Buenos Aires es proyectada en medio de la guerra para ser finalmente fundada en 1821. Por todo esto, en la Facultad se decidió celebrar el Bicentenario de la Revolución de Mayo a través de una muestra que recorre los primeros intentos de los patriotas para promover el estudio de las ciencias en las Provincias Unidas del Río de la Plata.

## PARA VER LA MUESTRA

“Las ciencias exactas y naturales en tiempos de la Revolución de Mayo. Los libros y su historia” se encontrará abierta al público en forma gratuita hasta el 13 de agosto.

La muestra cuenta con un conjunto de paneles que relatan hechos significativos de aquellos tiempos, pero el puente al pasado lo constituyen los libros que acompañan a los paneles: material original perteneciente al patrimonio de la Biblioteca Central Luis Federico Leloir, de la Facultad.

Una selección de 26 libros, impresos entre el siglo XVIII y las primeras décadas del XIX transportan al visitante a los saberes y descubrimientos de la época. Cada uno de ellos nos habla de ciencia, pero también de cómo se hacían los libros de la época, en qué circunstancias llegaron, en qué contexto social se escribieron. Recordemos: estos libros son fruto del Iluminismo, y todavía los sueños de libertad y conocimiento iban de la mano.

Exactas dispone de un valioso tesoro de antiguos libros y documentación debidamente cuidado en su sala de preservación. Cuidados por manos expertas bajo condiciones apropiadas de humedad y temperatura.

Durante varios meses, miembros de la Biblioteca y del Programa de Historia trabajaron en el estudio y selección de libros y la posterior elaboración de textos animados por la idea de compartir con el resto de la comunidad el placer y la curiosidad que esas obras despertaban y que de algún modo encarnan aquel sueño de Mayo del cual somos herederos. |





Presente y futuro del yaguareté

# Un gato en peligro

*Son menos de 300 ejemplares los que siguen dando pelea, acosados por la deforestación y la caza en el norte argentino. Ya perdieron el 90 por ciento de su territorio. Un puñado de investigadores argentinos, con el apoyo de cientos de voluntarios, siguen de cerca sus rastros intentando comprender las amenazas, la modificación de su ambiente y las implicancias para la supervivencia de la especie en nuestro país.*

Por Carla García Nowak  
carlanowak@gmail.com

**P**elea por sobrevivir como una verdadera fiera. Resiste a la caza y a la devastación de sus refugios: la selva y los bosques. Lo llaman uturunco, tigre, manchado, Él, el bicho, el tipo. Pero todos hablan del mismo animal, el jaguar o yaguareté.

Este felino –el mayor de América y el tercero del mundo– sigue presente en la Argentina, arrinconado en las Yungas de Salta y

Jujuy, en la Selva Paranaense de Misiones y en el Chaco Seco. Lejos está de recuperar su territorio original, que se extendía desde el sudoeste de los Estados Unidos hasta el Río Negro, en la Patagonia.

Relatos de viajeros indican que este mamífero alcanzaba el río Santa Cruz y que a fines del siglo XIX y principios del XX había yaguaretés en las provincias de Buenos

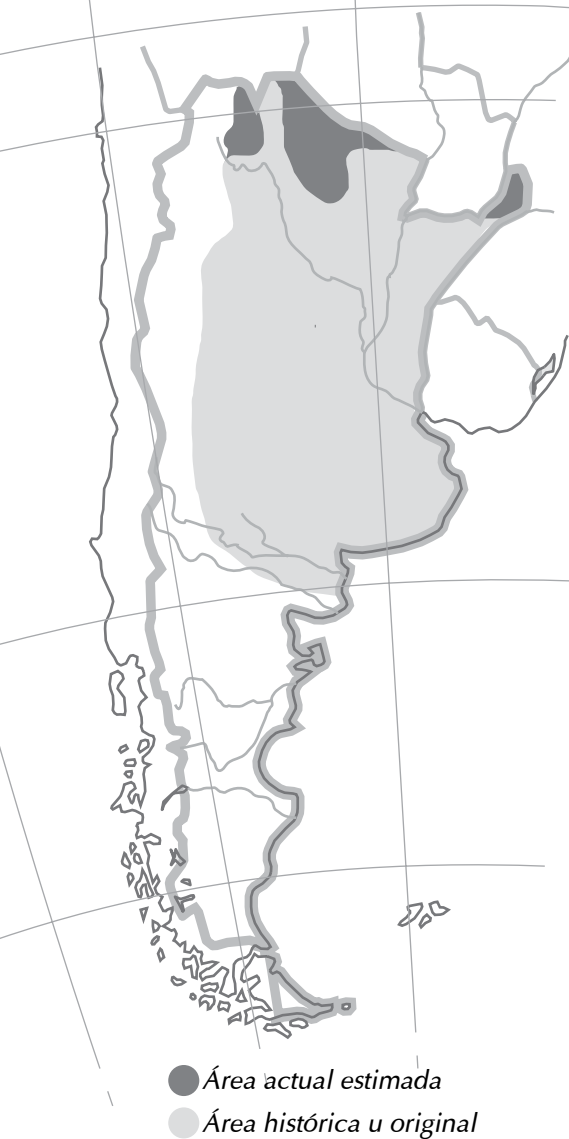
Aires y La Pampa, hasta las márgenes del río Colorado. También hacen referencia a este mamífero en el norte de la provincia de Corrientes a principios del 1900. Sin embargo, hoy el escenario es diferente, pues en la Argentina se ha reducido en un 90 por ciento su distribución original.

Esta declinación veloz de territorios y poblaciones de yaguaretés y su continuo éxo-



- Hábitos: animal solitario y de hábitos principalmente nocturnos. Utiliza ambientes boscosos
- Peso: entre 70 y 130 kilos
- Tamaño: hasta 80 cm de altura y 180 cm de longitud.
- Pelaje: único para cada individuo.
- Alimento: se alimenta de pecaríes, carpinchos, corzuelas y tapires. Consume hasta una tonelada y media de carne al año según el porte del individuo.

**EL TIGRE EN ARGENTINA: ANTES Y AHORA**



do hacia el norte puede atribuirse a múltiples factores; entre ellos: la persecución histórica que sufrió por el valor comercial de su piel y por ser considerado un animal peligroso para el ganado y para el hombre, así como un trofeo de caza valioso. En el siglo XXI el yaguareté encuentra dos obstáculos para la supervivencia: la caza furtiva y la modificación de su hábitat, con la consecuente pérdida de refugios y presas naturales.

No se sabe cuántos ejemplares quedan en todo el continente y es en el Pantanal del sur brasileño y en algunas zonas de Venezuela donde manifiesta su mayor presencia. En tanto, en la Argentina los investigadores estiman que habitan “no más de 300 individuos adultos”, aunque es muy difícil determinar la cantidad exacta.

**Es un monumento**

El conocimiento de la *Panthera onca* – por su nombre científico– en el país todavía es escaso y desperejo. Para las Yungas y el Chaco existen estimaciones de la situación poblacional, mientras que para el Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAP) o Selva Paranaense existe algo de información como parte de los trabajos realizados por distintos grupos de investigación.

El yaguareté fue declarado Monumento Natural en el 2001 –máxima figura de protección para una especie en Argentina–, abriendo así en el país un espacio para el plan de conservación de esta especie en peligro de extinción.

Esta especie de gran valor biológico y cultural juega un importante rol en los ecosistemas en que habita. Como es el mayor depredador, es clave para controlar poblaciones de herbívoros que son los que regulan muchos procesos que ocurren en la selva. Asimismo, debido a sus grandes requerimientos territoriales, se la considera una especie “paraguas”, es decir, que preservándola se asegura la supervivencia de muchas otras con menores requerimientos.

**Tras las huellas**

El Bosque Atlántico del Alto Paraná es uno de los ambientes más amenazados del planeta por la pérdida de hábitat y su alto grado de fragmentación, lo que pone en riesgo a las poblaciones de los mayores depredadores naturales: el jaguar y el puma, otro de los grandes felinos americanos. De la misma manera, pone en jaque la biodiversidad, y esto no es poca cosa, porque este ambiente es considerado uno de los ecosistemas biológicos con mayor diversidad de la Tierra, ya que contiene el 7 por ciento de las especies del mundo.

Al cordón remanente de Selva Paranaense que atraviesa el territorio de Misiones se lo denomina Corredor verde. La diversidad de especies vegetales y animales lo convierte en uno de los ambientes naturales más importantes del país.

En el 2002, investigadores del CONICET y la Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA) junto a la World Wildlife Foundation, con el apoyo del Ministerio de Ecología RNRYT de Misiones y la Administración de Parques Nacionales (APN) desarrollaron un proyecto que busca conocer el estado poblacional del yaguareté en la Selva Paranaense.



Lugareños exponen la piel de un jaguar cazado en formosa en abril de 2007

Recuperar la presencia del yaguareté en los esteros correntinos es el objetivo de un grupo de investigadores liderado por Ignacio Jiménez, biólogo por la Universidad de Valencia y Master en Manejo y Conservación de Vida Silvestre por la Universidad Nacional de Costa Rica.

La tarea no será sencilla, ya que los proyectos de reintroducción son muy costosos y requieren un compromiso por muchos años. En este sentido Jiménez, que coordina el Programa de Restauración de Especies Amenazadas en Iberá para The conservation Land Trust (CLT), estima que “será un trabajo de unos 5 a 10 años que superará el millón de dólares sin contar la inversión previa en adquisición y manejo de tierras”.

“Para llevar adelante la restauración hemos consultado a especialistas de Estados Unidos, Europa, Australia, Nueva Zelanda y África austral y oriental, que tienen experiencia en la reintroducción de grandes carnívoros como: el lobo, el oso pardo, el león y leopardo”, comenta Jiménez.

“La reserva de Iberá cuenta con 1.300.000 hectáreas. Evaluamos el tamaño y localización de áreas continuas sin presencia de ganado y alta disponibilidad de presas para los yaguaretés. Hemos identificado un área de 400.000 ha con estas características, pero deberá ser refinado en un análisis más detallado. Es importante aclarar que el proyecto está en sus fases preliminares y que estamos realizando evaluación de factibilidad y búsqueda de apoyo social y político”, concluye el especialista.

“Se elaboraron dos líneas de investigación: una a gran escala, que apunta a un estudio ecorregional, y la otra a menor escala, para estimar la densidad y estado sanitario de los individuos”, introduce el biólogo Agustín Paviolo, investigador del Instituto de Biología Subtropical de la Universidad de Misiones y miembro del Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CeIBA).

### Mirada a gran escala

Para el doctor Carlos De Ángelo, también integrante del CeIBA, el desafío fue conocer los usos de la tierra y cómo el proceso de fragmentación del Bosque Atlántico afecta a la persistencia del jaguar y del puma. Para relevar información en un área tan amplia como el BAAP, la ecorregión más extensa del Bosque Atlántico (471.204 km<sup>2</sup>), el especialista recurrió a diversas herramientas: desde análisis de imágenes satelitales hasta técnicas moleculares. Las primeras fueron utilizadas para describir los cambios en el uso de la tierra, la transformación de más de 75.000 km<sup>2</sup> (una superficie apenas inferior a la provincia de San Luis) de bosque nativo entre 1973 y 2004.

“En Misiones la producción de soja es el principal causante de la deforestación a gran escala, mientras que en el BAAP la actividad forestal de tipo intensiva y el ‘proceso hormiga’ de deforestación que ejercen las poblaciones rurales para la producción ganadera, la siembra de tabaco, té y yerba mate es lo que atenta continuamente contra la integridad de la selva”, señala De Ángelo.

Perder más del 50 por ciento del bosque nativo en 30 años, en el área comprendida por Brasil (centro, sur y oeste), Paraguay (este) y la Argentina (provincia de Misiones), es para los investigadores un dato no menor, ya que poco a poco se va borrando el hábitat de estos grandes mamíferos.

“Los jaguares y pumas retrajeron su distribución en un paisaje heterogéneo, persistiendo en algunas porciones del BAAP, sobre todo en regiones que aún mantienen cierta cobertura de bosque nativo”.

Para relevar la distribución de los dos grandes felinos a escala regional, los especialistas recolectaron huellas y heces. “Como el área es muy amplia, construimos una red de monitoreo con más de 300 voluntarios que fueron recogiendo las muestras”, indica De Ángelo.

“Como esta red estaba constituida por biólogos, guardaparques, chacareros, ONGs y obreros de las forestaciones, desarrollamos un kit con los materiales y las instrucciones para que pudieran tomar el molde de una huella o recolectaran las heces que encontraban en el campo y luego nos las remitieran para diferenciar mediante estudios genéticos las especies de felinos presentes”, resalta.

Y enfatiza: “Conocer dónde está la especie es uno de los puntos de partida para saber cómo están conservadas las poblaciones. Entender la interacción con el ambiente y detectar áreas de conflicto permitirá desarrollar un plan de manejo”.

Por su parte, Paviolo subraya que “la conservación es un tema complejo que involucra incluso a quienes están lejos de las áreas con selva, por ejemplo gente que interviene en la aprobación de la ley de bosques”.

Trabajar con los yaguaretés no es nada fácil, ya que son animales con hábitos predominantemente nocturnos y suelen ser solitarios y esquivos. Además, la poca abundancia de estos depredadores en ambientes como la selva, en los que la visibilidad es muy corta, no ayuda a estudiarlo.

“Trabajamos con trampas cámaras, que pueden operarse de manera automática y observación indirecta”, comenta Paviolo. Las trampas cámaras tienen un sensor conectado a una máquina fotográfica. Ante el paso de un animal, el sensor activa la cámara registrando una fotografía. Así, es posible identificar a distintos individuos de yaguareté, ya que las manchas del pelaje son únicas para cada ejemplar. Luego, mediante la utilización de modelos matemáticos denominados de ‘captura–marcado–recaptura’ es po-

sible obtener estimaciones del tamaño poblacional en el área de estudio. La aparición repetida del mismo individuo en sucesivos registros es considerada una recaptura.

“Con esta herramienta pude estimar la densidad poblacional de yaguaretés en distintas áreas de Misiones. Elegí sectores con diferentes niveles de conservación en cuanto a la degradación por caza furtiva y explotación forestal. De la misma manera, medí la abundancia de puma y la abundancia relativa de presas, para saber cómo la disponibilidad de presas, la presión de caza por el hombre y la competencia de otro gran mamífero como el puma estarían afectando la densidad y la abundancia del yaguareté”, agrega.



Foto: V. Quiroga



La doctora Verónica Quiroga haciendo trabajo de campo en el Chaco.

Los investigadores encontraron una abundancia de entre 40 y 60 individuos para el corredor verde en Misiones, y una densidad “de alrededor de un individuo cada 100 km<sup>2</sup>, y ha disminuido entre 2 a 6 veces en los últimos 10 años en el Parque Iguazú y todo el corredor norte que es el área mejor protegida de todo el corredor verde”.

También se obtiene información mediante la captura de individuos y la colocación de collares GPS. “En este momento tenemos un solo individuo marcado con radio collar para estimar el área de acción. Los datos preliminares indican que el macho tiene un territorio aproximado de entre 250 a 300 km<sup>2</sup>”, rescata Paviolo.

“La población de yaguararé en la Selva Paranaense sufrió una drástica disminución en los últimos 15 años y demuestra la necesidad de tomar medidas concretas para revertir la situación. Para ello estamos trabajando en conjunto con APN, el Gobierno de la Provincia de Misiones, la FVSA y otras”, resalta el biólogo del CeIBA.

**En la selva de las Yungas**

Para relevar la presencia del yaguararé en el tiempo y el espacio y construir un mapa de su distribución potencial en la Argentina, la bióloga Erica Cuyckens, becaria del Conicet e investigadora del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta, releva datos de la historia reciente y aquellos provistos por investigadores que trabajan en otras zonas del país.

Foto: R. Melzew



Huellas de patas trasera y delantera izquierdas en la Reserva de Vida Silvestre Uruguai.

“Fui obteniendo la más alta probabilidad de presencia de la especie en la alta cuenca del río Bermejo, que es una parte de las Yungas en Salta, en el límite con Bolivia. Por ello empecé a trabajar junto con la ONG Red Yaguararé para ver el uso que este animal hace del ambiente. Incluimos la región comprendida entre el Parque Nacional Baritú –Salta Argentina– hasta la Reserva de Flora y Fauna Tariquíá, Bolivia, donde existe un corredor biológico desde el año 2000, y donde es importante que se mantenga esa conexión. Hacemos encuestas con pobladores locales para ver dónde es más frecuente el yaguararé y dónde hay presas”, comenta Cuyckens.

“Las principales amenazas para el yaguararé en las Yungas son la pérdida de hábitat y la caza, en ese orden. Es muy notable la degradación del hábitat y está claro que en un terreno con caña de azúcar o soja, la especie no a va sobrevivir. En cuanto a la caza, los ganaderos locales defienden su ganado e incluso dicen que si el yaguararé les mata una vaca, ellos los van a matar sin dudas”, alerta.

En cuanto a las principales amenazas que enfrenta la población de yaguararés en las Yungas, el doctor Pablo Perovic del Instituto de Bio y Geociencias del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta y uno de los pioneros en la Argentina en el estudio de la ecología del jaguar, enfatiza que “las causas del peligro de extinción son muchas e interactúan a nivel biológico, ambiental o social, pero

solo una es importante: la falta de una política de conservación”.

**En el Chaco**

En la región chaqueña, los estudios sobre el yaguararé son escasos, lo que genera un vacío de información a la hora de planificar estrategias de conservación. El gran Chaco es considerado único por sus características ambientales y culturales y alberga una gran cantidad de especies de alto valor de conservación. Allí, como en toda su distribución, la especie está amenazada por la fragmentación del hábitat, la caza y la declinación de sus presas (pecaríes, carpinchos, corzuelas y tapires).

Según la bióloga Verónica Quiroga, investigadora del Instituto de Biología Subtropical (IBS) y becaria del Conicet, “aún no hay una estimación exacta de la densidad de jaguares en el Chaco, ya que no sale en las fotos de las trampas-cámaras y de los recorridos de rastros y avistajes realizados en la campaña de 2008, en que relevamos 0,37 huellas cada 100 km, algo así como una huella cada 270 km”.

“Sabemos que la población disminuyó notablemente en los últimos 50 años. En este momento, las densidades son bajísimas y cuesta calcular cuántos quedan. Creemos que la situación para los mamíferos grandes y medianos en El impenetrable es alarmante y, de no tomarse medidas urgentes para su manejo y protección, sus poblaciones corren grave peligro”, alertó Quiroga. |

# La ciruela de la discordia

Sres. Revista Exactamente:

*Escribir esta nota es, para mí, una obligación moral. Si en la facultad alguien publicara un artículo diciendo que la teoría de la relatividad es meramente subjetiva puesto que no habla del tiempo sino de la medición de relojes, el profesor a cargo de relatividad general estaría obligado a señalar que el autor del trabajo no ha comprendido la teoría. Siendo la profesora de filosofía de las ciencias en la facultad debo, entonces, indicar la abigarrada lista de errores que comete el Maestro Ciruela en su breve nota del N°44 de EXACTAMENTE. Lamento enormemente tener que hacer esto, porque me enfrento a un momento más en la larga historia de desvalorización con la que algunos científicos naturales abordan cualquier conocimiento ajeno a su especialidad. Y principalmente lo lamento porque, una vez más, me hace perder mi tiempo. Pero, como dije, se trata de una obligación moral, así que ahí va.*

*La primera impresión que surge al enfrentarse a la nota es que Ciruela no ha leído La Estructura de las Revoluciones Científicas o que, si lo ha leído, tanto peor, porque no lo ha entendido.*

*Se habla indistintamente de teoría y de paradigma aristotélico. Es cierto que la noción de paradigma no queda completamente definida en La Estructura, pero es básico comprender que un paradigma es una unidad mucho más amplia y rica que la teoría a la que incluye. Si no se comprende esto, no puede comprenderse la diferencia entre Kuhn y sus antecesores.*

*Esta diferencia es la que no ha incorporado Ciruela, quien se opone a las ideas de ciencia provisoria, de refutación del conocimiento científico y de rechazo de una ciencia acumulativa, ideas que, lejos de provenir de Kuhn, ya habían sido defendidas por Popper casi treinta años antes.*

*Lo que Kuhn sostiene no es que el mundo "si responde 'verdadero' a una pregunta", entonces "responderá falso a la misma pregunta" en otro momento histórico. Lo que Kuhn afirma es que a veces la propia pregunta, significativa en el paradigma original, ya no puede siquiera ser formulada en el nuevo paradigma. Por lo tanto, asegurar cómo será vista la realidad por "la ciencia del futuro, dentro de dos siglos, dentro de nueve siglos (si es que seguimos estando)" sería, para Kuhn, sólo una demostración de miopía epistemológica.*

## RESPUESTA

Estimada Olimpia, aunque no coincido con el contenido de su carta ni me alegra el tono despectivo con que trata al autor, le agradezco la molestia que se ha tomado. En relación al anonimato al que usted se refiere, quiero indicarle que no es tal. Nuestros lectores saben que el personaje del Maestro Ciruela es una creación mía. Don Ciruela es un docente medio cascarrabias que, sin mucha formalidad, anda por ahí "cantando las cuarenta". En varios números apareció firmado y en otros se invitaba a los lectores a chusmear la saga completa de "las lecciones" en el sitio de internet [http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/lista\\_ciruela.html](http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/lista_ciruela.html), dentro de mi website personal.

*Al no entender precisamente esto, Ciruela pasa por alto que, independientemente de qué teoría se enseñe o se utilice en la práctica, la mecánica clásica, la relatividad general y la mecánica cuántica son teorías incompatibles, esto es, no pueden ser las tres verdaderas simultáneamente, entendiéndose por verdad la correspondencia con la realidad. Y esto no es una cuestión de opinión, sino de lógica pura y dura. Por lo tanto, quien pretenda seriamente explicar el hecho de que las tres teorías se utilicen actualmente deberá enfrentarse a este hecho.*

*Todos estos errores aparecen montados sobre un supuesto que actúa como historia de marco del relato: la propuesta kuhniana es "verdaderamente perniciosa". Pero no se nos dice por qué. Por el contrario, alguien podría pensar que, como en el arte, la provisoriedad estimula la creatividad, o que las ideas de Kuhn son más "democráticas" que las de sus predecesores, o cualquier otra cosa, ya que Ciruela no da pistas acerca del motivo por el que deberíamos aceptar aquel juicio de valor. Pero aun cuando lo aceptáramos, no se ve la relación entre el carácter pernicioso de la propuesta kuhniana y su adecuación en la descripción de la ciencia. A menos que un juicio de valor pudiera afectar la verdad de un conocimiento, como admitiría el propio Kuhn.*

*Quiero subrayar que, hasta aquí, mi postura ha sido exclusivamente docente: nada de lo dicho implica mi adhesión a las tesis de Kuhn. Pero ahora quiero abandonar esa postura para señalar un aspecto mucho más grave que la publicación de una nota llena de errores en la revista de divulgación de la facultad: a fin de cuentas, la ignorancia no es pecado, sea la del autor de la nota o la de los responsables de su publicación. Lo que sí resulta escandaloso es que una nota de opinión se publique en forma anónima, violando así uno de los códigos éticos más básicos del periodismo. Tan moralmente disonante es toda esta situación que me pregunto si mi propia seriedad no me ha cegado y me estoy equivocando de medio a medio. Tal vez todo esto se debe a que EXACTAMENTE ha inaugurado una nueva página humorística, donde conviven la viñeta de Daniel Paz y la nota del Maestro Ciruela.*

*Olimpia Lombardi, profesora de la Universidad de Buenos Aires e Investigadora independiente del CONICET*

Ricardo Cabrera, Director de EXACTAMENTE.

## La aventura de enseñar Ciencias Naturales

**MELINA FURMAN Y MARÍA EUGENIA DE PODESTÁ**  
Buenos Aires, 2010  
Editorial Aique, 272 páginas



## El cambio climático explicado a mi hija

**JEAN-MARC JANCOVICI**  
Buenos Aires, 2010  
Fondo de Cultura Económica, 112 páginas



## La ciencia como calamidad

**MARCELINO CEREIJIDO**  
Buenos Aires, 2010  
Gedisa, 258 páginas



Recientemente galardonado con el Primer Premio al Libro de Educación –otorgado por la Fundación El Libro en la categoría Obra Práctica– el libro de Furman y de Podestá está destinado a vender miles de ejemplares. El motivo es el siguiente: los docentes lo esperaban desde hace siglos.

Habla de la didáctica de las ciencias naturales de manera clara (sin rodeos, sin metáforas, sin palabras técnicas innecesarias, sin eufemismos, sin oraciones interminables). Pero además predica con el ejemplo: todas las actitudes docentes que pretende fomentar se hallan plasmadas en un planteo sumamente prolijo, ejemplificado y guiado, en el que es imposible perder el hilo ni por un instante. Está poblado de propuestas concretas para situaciones reales orquestadas en una visión de conjunto a la vez simple y robusta.

Aunque está especialmente dirigido a docentes de nivel primario (y sus directivos), los profesores de enseñanza media tienen también mucha tela para cortar; sobre todo los de Ciencias Naturales, que van a encontrar dos autoras con una primera formación en ciencias duras y una sólida especialización en didáctica de las ciencias naturales.

Este libro maravilloso no le va a contar que mejorar la enseñanza de las ciencias tiene una importancia estratégica, simplemente le va a decir cómo lograrlo.

El mejor libro de lo que va del año. Escrito con toda la precisión y la paciencia de la que es capaz un buen padre. Por demás claro y didáctico, sin hacer uso de latiguillos, sin consignas absurdas y sin lugares comunes, Jean-Marc Jancovici (ingeniero francés experto en asuntos ambientales) construye la visión global del problema del cambio climático con la maestría del divulgador más experimentado.

No es nada sencillo sortear el problema de la escala: los grandes números necesarios para abordar el fenómeno del calentamiento global, y el número y tamaño de las piezas de este rompecabezas exceden nuestra capacidad de entendimiento. Jancovici lo logra recurriendo a las comparaciones sencillas, a proporciones, a costos relativos: la cantidad de tierra cultivada para obtener un litro de combustible es igual a la cantidad de tierra necesaria para alimentar a una persona durante un año.

Este libro de bolsillo, fácil de leer, breve y ameno... sin ser apocalíptico es estrictamente realista. Qué podemos esperar para el futuro inmediato, 20 años, 40 años, 90 años... el margen de error ya es muy estrecho y es hora de tomar conciencia.

Tampoco es esperanzado, ya que el autor apunta a que el conocimiento le dé a su hija –y a sus lectores– las herramientas necesarias para librar la mejor batalla posible a un futuro complicado.

Va de suyo que la calamidad no es la ciencia sino ignorar la ciencia, pero es probable que en un mundo de analfabetos científicos se venda más un libro cuyo título arrima ciencia con calamidad.

El interior del texto, sin embargo, no tiene dobleces. Al pan pan y al vino vino. El tono urgente de la prosa de Cereijido anticipa que no se va a andar con miramientos ni diplomacias. No se puede ser políticamente correcto a costa de mentir, ocultar, o eludir responsabilidades. Por eso Cereijido denuncia al clero y a los militares, a políticos y educadores que han hundido a poblaciones enteras en la ignorancia y la credulidad.

Para el analfabeto científico la ciencia es transparente. No la entiende pero, peor aún, no la ve. Y no es capaz de advertir que nuestra vida se ha hecho tan dependiente de la ciencia que ignorarla entraña un peligro enorme. Sin pelos en la lengua Marcelino Cereijido nos enseña qué es la ciencia, cómo se produjo, para qué sirve y a qué intereses molesta. Y por qué los poderosos invierten energía en evitar que la gente descubra la ciencia, y a qué encrucijada nos ha arrastrado este avasallamiento intelectual.



# El racionalismo científico (tercera parte)

por Guillermo Boido y Olimpia Lombardi

Nos ocuparemos aquí del *relativismo*, que, a diferencia del racionalismo, afirma que las teorías son evaluadas empleando criterios que varían de una comunidad científica a otra, que dependen de valores y creencias personales o colectivas y que se modifican a lo largo de la historia. Esta posición aparece en *La estructura de las revoluciones científicas* (1962) de Thomas S. Kuhn, donde se presenta un modelo de desarrollo histórico de la ciencia que utiliza tres categorías de análisis: la de *paradigma*, la de *ciencia normal* y la de *revolución científica*. En lo esencial, un paradigma designa “una sólida red de compromisos conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos” que permiten a una comunidad científica, en determinado ámbito disciplinar, resolver problemas. Sobre la base del análisis de diversos ejemplos históricos, algunos provenientes de la química, Kuhn argumenta que, en cierto momento, la comunidad científica adhiere a un paradigma y con él practica lo que llama “ciencia normal”, pero luego el paradigma vigente entra en crisis por el número y la gravedad de sus *anomalías* (problemas que se resisten tenazmente a ser resueltos) y se propone en-

tonces un paradigma alternativo. El nuevo paradigma logra finalmente atraer el compromiso de un número significativo de investigadores y acaba por imponerse: se ha producido una “revolución científica”. A partir de allí se inicia un nuevo período de “ciencia normal”, regido por el nuevo paradigma. Este proceso acontece una y otra vez a lo largo de la historia.

Si bien el rechazo de una ciencia acumulativa en favor de un conocimiento provisorio y siempre refutable había sido ya propuesto por Karl Popper, Kuhn va más allá. Porque sostiene que dos paradigmas distintos son *incommensurables*: cada paradigma divide, clasifica y articula la realidad a través de sus teorías de manera diferente, posee sus particulares sistemas de valores, conceptos, concepciones del mundo, etcétera, y ello impide dialogar a los partidarios de paradigmas distintos por carencia de un lenguaje común. No se trata de que en el nuevo paradigma se responda a una pregunta acerca del mundo de un modo diferente al modo en que se lo hacía en el paradigma anterior; es que la propia pregunta, significativa en el paradigma original, ya no puede siquiera ser formulada en el nuevo. Por lo tanto, abandonar un paradigma y adherir a otro no puede ser meramente asunto de lógica y observación; dicha adhesión radica en una suerte de “conversión” del científico, que le permite captar el nuevo paradigma mas no señalar las razones por las cuales lo ha adoptado.

Esta tesis de la incommensurabilidad de los paradigmas le ha valido a Kuhn el mote de *relativista*, pues comparar teorías científicas alternativas y optar entre ellas requiere de un diálogo que los partidarios de paradigmas distintos no pueden sostener; como consecuencia, no es concebible que existan

normas o criterios de análisis y elección de teorías válidos para todo paradigma. Sobre el punto, Kuhn se adentra en el análisis sociológico al escribir una frase lapidaria: “No hay ninguna norma superior a la aprobación de la comunidad científica”. La superioridad o no de una teoría sobre otra debe ser evaluada con referencia a los criterios de dichas comunidades, cuyas características dependerán de los marcos culturales e históricos en los cuales ellas están inmersas. Sin embargo, sería posible aceptar (como aduce el propio Kuhn en defensa de su posición) que mecanismos tales como la comprensión y la sensibilidad a la eficacia formasen parte de una “racionalidad” en un sentido más amplio que el tradicional.

Cabe señalar que, debido a la enorme cantidad de críticas y malentendidos que produjo su libro de 1962, Kuhn fue alterando gradualmente su perspectiva filosófica, y en sus trabajos posteriores adoptó posiciones que podrían ser catalogadas de racionalistas. Pero ya por entonces la influencia de sus tesis originales había producido un fuerte impacto en distintos ámbitos disciplinares, particularmente el de la llamada “nueva sociología de la ciencia”, que asumieron enfoques relativistas hasta límites difícilmente sostenibles. Por otra parte, diferentes voces se han alzado durante las últimas décadas para recuperar una perspectiva racionalista en materia científica. No obstante, aun desde esta posición, los trabajos de Kuhn han servido para reconocer las influencias sociales, culturales e históricas sobre el conocimiento científico: a partir de ellos ya nadie sostiene la ingenua idea decimonónica de una ciencia que avanza lineal y acumulativamente hacia la verdad absoluta, descubriendo el velo de la realidad de una vez y para siempre. ▢



Thomas S. Kuhn



### ¿Cómo se forman las aguas termales?

*Responde la doctora Corina Risso, del Departamento de Ciencias Geológicas de la FCEyN.*

Todas las aguas termales, al igual que las subterráneas, provienen del agua de lluvia o de deshielo que se infiltra a través del suelo, es decir, pertenecen al ciclo hidrológico. Pero no toda el agua que cae sobre la superficie terrestre como lluvia o nieve sigue el mismo camino. Según los tipos de roca que encuentre a su paso puede llegar a menor o mayor profundidad. Como la temperatura del suelo aumenta a medida que se desciende, el agua estará más caliente cuanto más profundo se encuentre. Las aguas de las napas freáticas, por lo general, pueden hallarse a unos 10 a 30 metros de profundidad, y su temperatura es muy similar al promedio anual de temperatura en cada zona. En cambio, para buscar aguas más cálidas hay que hacer perforaciones de más de cien metros. También, a ma-

yor profundidad, las aguas tienen mayor contenido de elementos minerales que fueron tomando de las rocas.

Por ejemplo, en Rosario de la Frontera, al sur de la provincia de Salta, las aguas se infiltraron a gran profundidad (miles de metros), y a través de fallas en las rocas surgen a la superficie. Son aguas cálidas de entre 26-99° C y con alto contenido de minerales. En cambio, el agua que se comercializa como “mineral” en la provincia de Buenos Aires proviene principalmente del acuífero Puelche, entre 40-120 metros de profundidad.

En especial, el agua que se infiltra en zonas volcánicas, y está en contacto con cámaras magmáticas, recibe un aporte mayor de los elementos minerales que están en estado gaseoso en el magma y

pasan al agua, donde se disuelven. Por ejemplo, las aguas termales cercanas al volcán Copahue son ricas en componentes minerales y poseen alta temperatura (24-62° C). Además, surgen de manera natural. La surgencia se da con mayor facilidad en la montaña, debido a las fallas y fracturas.

Ahora bien, la expresión “aguas minerales” no es del todo correcta, pues en geología un mineral se define como una sustancia natural en estado sólido, con una composición química definida y un ordenamiento espacial. En el agua los componentes están disueltos, por lo tanto, el agua no posee minerales en sentido estricto, sino que tiene elementos, o mejor dicho, aniones y cationes (cargas positivas y negativas) de distintos elementos químicos, todos en solución.



### ¿Por qué titilan las estrellas?

*Responde la doctora Patricia Tissera, investigadora del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)*

Vemos titilar a las estrellas debido a la distorsión que la atmósfera produce sobre los rayos de luz que vienen de ellas. Los gases que componen la atmósfera están a distinta temperatura, tienen diferente densidad y están afectados por turbulencias, lo que hace que la radiación no viaje en línea recta sino que sufra refracciones. Es decir, los rayos se tuercen y muestran una imagen distorsionada, de la misma manera en que vemos como quebrado al remo sumergido en el agua. De este modo, los rayos recorren diferentes caminos y el ojo humano ve la imagen en diferentes posiciones que se suceden unas tras otras rápidamente dando como resultado una imagen que baila. En realidad, deberíamos percibir las estrellas como pequeños puntos fijos. Así se ven fuera de la

atmósfera, desde la Luna, por ejemplo, o desde el telescopio Hubble.

Pero ¿por qué la Luna o el Sol no titilan? Debido a que están mucho más cerca que las estrellas, presentan una superficie más grande, que no se ve afectada por la perturbación de la atmósfera.

El titilar o bailar de la imagen de las estrellas es un problema para los astrónomos. El fenómeno se denomina “seeing” (visión), término que se refiere al efecto de distorsión de la atmósfera sobre las imágenes de los objetos astronómicos. Por eso es tan importante que los observatorios astronómicos estén emplazados en sitios con baja turbulencia, poco viento y temperatura estable a lo largo del año. Cuando se dan esas condiciones, el seeing

es pequeño. Las mejores condiciones de observación dan un diámetro de seeing menor a 0.4 segundo de arco en observatorios situados a gran altitud, como el Mauna Kea, en Hawai. En aquellos situados a baja altura, el seeing puede ser del orden 1 segundo, o incluso superior, según la turbulencia local.

Actualmente, existen varios proyectos nacionales e internacionales que están considerando la instalación de telescopios en la Puna argentina, región que reúne condiciones apropiadas de seeing. Si nuestro país se convirtiera en un lugar de asentamiento de grandes telescopios debido a la excelente calidad de su cielo, se abrirían posibilidades magníficas no solo para la astronomía y la astrofísica sino también para el desarrollo de nuevas tecnologías.

## Las enseñanzas del Maestro Ciruela

# Construcción social

Hay sociólogos de la ciencia que afirman y recontraafirman que la ciencia es una construcción social. Pues bien, estos intelectuales son negadores de la realidad. Y mienten. El razonamiento es el siguiente: la gente de a pie como yo, entiende por ciencia un par de cosas; la primera es el conjunto de conocimientos y la segunda es la comunidad científica, su gente, sus instituciones, sus métodos, etcétera. En el caso de que no se aclare (y los sociólogos a lo que hago referencia no lo hacen, adrede), todo adjetivo aplicado a “ciencia” abarcará ambas cosas, y es una mentira que la primera de ellas —o sea, el conocimiento científico— sea una construcción social. El conocimiento científico, mis amigos, es el descubrimiento de una realidad que hay ahí afuera, indiferente a nuestras locuras y aspiraciones.

Cuando un artista excava la roca, cincela volúmenes y pule aristas... puede obtener cualquier forma final, que será producto —no cabe duda— de su imaginación, su técnica, su formación artística, su corriente escultórica, su historia personal, su inclinación sexual y de la cantidad de cariño que su mamá le brindó en la cuna. Pero cuando un paleontólogo excava la roca y desentierra una cosa

extraña —que en principio no comprende pero que análisis posteriores revelan que se trata del esqueleto de un *Tiranosaurus rex*, por ejemplo— aquello que sea estará definido hasta el más mínimo detalle. Por más imaginación y creatividad que tenga el paleontólogo, o sus pares del instituto, el tiranosaurio no puede tener dos cabezas, ni colita de ratón. Nada en de la morfología de la especie depende de la sociedad que supo concebir al paleontólogo ni del subsidio que lo llevó hasta el sitio de excavación. Nada de su anatomía “construye” el científico.

Hay una realidad, ahí afuera, enterrada en la ignorancia, que es independiente de nuestros deseos y nuestros sentimientos y que la ciencia se ocupa de desenterrar. La principal característica del conocimiento científico —de la ciencia— es que es objetivo, independiente de nuestra cultura, de nuestro idioma, de nuestra inclinación política y nuestro entorno social. Estos sociólogos de la ciencia están negando la existencia de la realidad, de la objetividad. Eso no se hace.



Maestro Ciruela

### HUMOR

Por Daniel Paz



El pronóstico meteoroilógico



# Compu3stís1mos

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

Mucha gente ha escuchado hablar de los números primos, pero pocos saben realmente cuáles son los números primos, cómo se definen, qué características tienen. ¿Por qué los maestros y profesores no le dan demasiada importancia? Seguramente porque no han tenido buenas experiencias y no les tienen suficiente cariño. Al intentar dividir a los queridos primos por los números enteros menores, nunca tenemos éxito, siempre nos sobra algún resto en la división. Esto quiere decir que los primos no tienen divisores salvo 1 y sí mismos. El 2, el 3, el 5, el 7, el 11 son los primeros primos. El 4 no es primo porque es divisible por 2. El 10 es divisible por 2 y 5, luego no es primo tampoco. El 60 es divisible por 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30, además de ser divisible por 1 y 60. A estos números, 4, 10, 60... que no son primos se los llama compuestos.

¿De qué están compuestos los números? De otros números más chicos. Si trabajáramos con sumas podríamos construir cualquier número entero sumando unos o, inversamente, descomponerlo en sumas de muchos unos, por ejemplo el  $12 = 1+1+1+1+1+1+1+1+1+1+1$ . Pero qué pasa si intentamos descomponer el 12 en productos de números. Podemos obtener  $12 = 3 \times 4$ , pero el 4 podemos seguir descomponiéndolo en producto de números más chicos,  $4 = 2 \times 2$  con lo que 12 queda descompuesto como  $12 = 2 \times 2 \times 3$  y ya no se puede seguir porque 2 y 3 son primos. Los primos hacen las veces de átomos, cuando intentamos descomponer un número como producto de otros. Los primos son generadores de muchas preguntas y líneas para explorar calculadora en mano, pero vamos a darle una mirada a los compuestos.

Hay muchos grados de compositividad. ¿Cuáles son los números más compuestos de todos? ¿Existirán tales números? ¿O no siempre habrá un número más compuesto? Acá van un par de intentos de respuestas, pero son sólo un par de direcciones de las muchas que pueden explorarse al definir el concepto de alta compositividad.

La primera idea es hallar números con muchos divisores. Llamemos  $d(n)$  a la cantidad de divisores de un número  $n$ . Los primos se pueden definir como los números que tienen  $d = 2$ ,  $d(4) = 3$  por que 4 tiene tres divisores 1, 2 y 4 y  $d(60) = 12$ , con ayuda del primer párrafo. ¿Cuán grande puede ser  $d$ ? Tanto como queramos, siempre que los números que consideremos crezcan. Una linda actividad para explorar es hallar el número menor que 10.000 con mayor valor de  $d$ . No hace falta más que saber dividir y además uno se puede auxiliar con una calculadora. Pero, ¿debemos explorar todos los números menores que 10.000? ¿Cómo podemos acotar la búsqueda? ¿Son todos candidatos?

Otra idea un poco más sofisticada es sumar los divisores del número excluyendo a sí mismo. A esta suma la llamaremos  $s(n)$ . Para los primos  $s(n) = 1$  pero cuando crece el  $n$  en general tiende a crecer el  $s(n)$ . Una forma de tener una idea relativa de cantidad de divisores o compositividad es dividir  $s(n)/n$  y analizar este valor. Los números tales que  $s(n)/n = 1$  se los llama perfectos. Aunque se sospecha que puede haber infinitos números perfectos, aún no se tiene una demostración de esta conjetura. Lo que sí se ha probado es que si son pares los números perfectos, han de ser de la forma  $2^p(2^p-1)$  donde  $2^p-1$  debe ser primo. A los primos de la forma  $2^p-1$ , se los conoce con el nombre de primos de Mer-

senne. En la actualidad sólo se conocen 49 de estos primos, el más grande tiene 12.978.189 de dígitos, el más chico es el 3, da lugar al 6 que es el menor número perfecto conocido, ya que  $6 = 1 + 2 + 3$ . El siguiente primo de Mersenne  $7=2^3-1$  da lugar al  $28=1+2+4+7+14$  segundo número perfecto. Aún es un problema abierto determinar si existen o no números perfectos impares.

Los números perfectos se estudiaron desde la antigüedad. En 1631 Marin Mersenne le mandó una carta a René Descartes preguntándole si conocía algún número  $n$  tal que  $s(n)/n$  tomara valores enteros mayores que 1. Descartes tardó siete años en responderle la carta, y debió dedicar un poco de inspiración y mucho esfuerzo en ese tiempo, porque le mandó una lista con varios casos por ejemplo:  $s(1476304896)/1476304896 = 2$  o  $s(30240)/30240 = 3$  o  $s(14182439040)/14182439040 = 4$ . Estos números reciben el nombre de multiperfectos. Se conocen multiperfectos hasta de orden 10. En total, de todos los órdenes apenas se conocen algo más de 5.000 y se estima que no habría más de 20.000. ¿Cuáles son los dos multiperfectos de orden 2 más chicos? Pista: son menores que 1.000 y nuevamente no es necesario andar revisando todos los números del rango 1 a 1.000.

R1: 7560. Al buscarlo no hace falta revisar todos los menores de 10000, basta comenzar la búsqueda en 500, si hubiera un número  $M$  menor que 500 que fuera solución, entonces  $2xM$  sería una mejor solución. De cualquier forma, analizando los factores primos que lo podrían componer, se acorta enormemente la búsqueda. Observen que  $7560 = 2^3 \times 3^3 \times 5 \times 7$ , es decir está formado por los factores primos más pequeños, algunos, los más pequeños, elevados a potencias no muy grandes. La cantidad  $d$  se calcula como el producto de los exponentes a los que están elevados los factores primos aumentados en 1. En el caso del 7560, la cantidad de divisores es  $(3+1)(3+1)(1+1)(1+1)$  es decir  $4 \times 4 \times 2 \times 2 = 64$  divisores.

R2: 120, ya lo conocía Mersenne cuando le planteó el problema a Descartes en 1631, y 672, descubiertos por Fermat, que también anduvo pensando el problema en esas épocas.

SOLUCIONES

# CIENTIFICOS

INDUSTRIA ARGENTINA



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

**CON ADRIÁN PAENZA**



**SÁBADO  
11.40 Hs.**



**tv.pública**

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



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

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

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

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

