Pesquisa FAPESP

2013 _EDICIÓN 1 WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA
El grupo de los Bric ahora se parece más al de los países desarrollados

DEPRESIÓN
Las crisis pueden acelerar el envejecimiento

ROYAL SOCIETY
Investigadoras brasileñas encuentran un polvo alquímico de hace 350 años

Viaje al centro de la Tierra

Físicos detectan transformaciones minerales en el interior del planeta

Investigación FAPESP

2013 _ EDICIÓN 1 WWW.REVISTAPESQUISA.FAPESP.BR

14 TAPA
Físicos describen detalladamente las estructuras y las transformaciones minerales que se producen en regiones profundas del interior del planeta

Ilustración de la portada
Drüm

ENTREVISTA

6 Eduardo Moacyr Krieger
El fisiólogo creó en el Instituto del Corazón el más importante grupo de investigación integrada sobre presión arterial de Brasil

SECCIONES

4 Carta de la editora
66 Arte

POLÍTICA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

20 Producción científica
Estudios que revelan que la estructura de la comunidad científica de los Bric es cada vez más parecida a la de los países desarrollados

24 Inversión
Los gastos del estado de São Paulo en investigación y desarrollo revelan el abismo existente en relación con las restantes unidades de la federación

28 Reconocimiento
Premios internacionales como el que se le concedió a Fernando Henrique Cardoso realzan la imagen de la comunidad científica brasileña

CIENCIA

32 Enfermedades mentales
Las crisis de depresión y euforia provocan desequilibrios químicos que pueden dañar a las células y acelerar el envejecimiento del cuerpo

42 Distrofia muscular
La utilización combinada de células madre y factor de crecimiento reduce los síntomas de la enfermedad en ratones

TECNOLOGÍA

44 Investigación empresarial
La empresa Vale cumple 70 años invirtiendo en proyectos de largo plazo enfocados en el desarrollo sostenible y la minería

50 Calentamiento global
Las emisiones del peor gas causante del efecto invernadero que salen de la caña de azúcar son menores que las estimadas

53 Nuevos materiales
Brasileños descubren una nueva familia de metales capaces de conducir electricidad sin pérdida de energía

HUMANIDADES

54 Historia de la ciencia
Investigadoras brasileñas descubren polvo alquímico en un archivo de la Royal Society, la sede de la revolución científica

62 Relaciones exteriores
La idea de que Brasil ocupe un escaño en el Consejo de Seguridad, tenida como “un capricho” por ciertos analistas, partió de Estados Unidos

FAPESP
FUNDACIÓN DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DEL ESTADO DE SÃO PAULO

CELSO LAFER
PRESIDENTE

EDUARDO MOACYR KRIEGER
VICEPRESIDENTE

CONSEJO SUPERIOR
ALEJANDRO SZANTO DE TOLEDO, CELSO LAFER, EDUARDO MOACYR KRIEGER, FERNANDO FERREIRA COSTA, HORÁCIO LAFER PIVA, HERMAN JACOBUS CORNELIS VOORWALD, JOÃO GRANDINO RODAS, MARIA JOSÉ SOARES MENDES GIANNINI, JOSÉ DE SOUZA MARTINS, LUIZ GONZAGA BELLUZZO, SUELY VILELA SAMPAIO Y YOSHIAKI NAKANO

CONSEJO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

JOSÉ ARANA VARELA
DIRECTOR PRESIDENTE

CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ
DIRECTOR CIENTÍFICO

JOAQUIM J. DE CAMARGO ENGLER
DIRECTOR ADMINISTRATIVO

Pesquisa FAPESP
ISSN 1519-8774

CONSEJO EDITORIAL
Carlos Henrique de Brito Cruz (*Presidente*), Caio Túlio Costa, Eugênio Bucci, Fernando Reinach, José Eduardo Krieger, Luiz Davidovich, Marcelo Knobel, Marcelo Leite, Maria Hermínia Tavares de Almeida, Marisa Lajolo, Maurício Tuffani y Mônica Teixeira

COMITÉ CIENTÍFICO
Luiz Henrique Lopes dos Santos (*Presidente*), Adolpho José Melfi, Carlos Eduardo Negrão, Douglas Eduardo Zampieri, Eduardo Cesar Leão Marques, Francisco Antônio Bezerra Coutinho, João Furtado, Joaquim J. de Camargo Engler, José Arana Varela, José Roberto de França Arruda, José Roberto Postali Parra, Luis Augusto Barbosa Cortez, Marcelo Knobel, Marie-Anne Van Sluys, Mário José Abdalla Saad, Paula Montero, Roberto Marcondes Cesar Júnior, Sérgio Luiz Monteiro Salles Filho, Sérgio Robles Reis Queiroz, Wagner do Amaral y Walter Colli

COORDINADOR CIENTÍFICO
Luiz Henrique Lopes dos Santos

DIRECTORA DE REDACCIÓN
Mariluce Moura

EDITOR EN JEFE Neldson Marcolin

EDITORES EJECUTIVOS
Carlos Haag (*Humanidades*), Fabrício Marques (*Política*), Marcos de Oliveira (*Tecnologia*), Ricardo Zorzetto (*Ciencia*) y Maria Guimarães (*Edición online*)

EDITORES ESPECIALES
Carlos Fioravanti y Marcos Pivetta

EDITORAS ASISTENTES
Dinorah Ereno e Isis Nóbile Diniz (*Edición online*)

TRADUCCIÓN Y REVISIÓN
Damian Kraus

ARTE Laura Daviña (*Editora*), Ana Paula Campos y Maria Cecilia Felli

FOTÓGRAFOS
Eduardo Cesar y Léo Ramos

MEDIOS ELECTRÓNICOS
Fabricio Marques (*Coordinador*)

COLABORADORES
Drüm, Eduardo Sancinetti, Igor Zolnerkevic, Mayumi Okuyama, Pedro Hamdan y Yuri Vasconcelos

IMPRESIÓN
Ibep Gráfica

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE TEXTOS Y FOTOS SIN LA DEBIDA AUTORIZACIÓN PREVIA

PESQUISA FAPESP Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º andar São Paulo, SP – CEP 05415-012 – Brasil

FAPESP
RUA PIO XI, Nº 1.500 – ALTO DA LAPA
SÃO PAULO, SP – CEP 05468-901 – BRASIL

SECRETARÍA DE DESARROLLO ECONÓMICO, CIENCIA Y TECNOLOGÍA
GOBERNACIÓN DEL ESTADO DE SÃO PAULO

CARTA DE LA EDITORA

Rumbo a lo desconocido sin fin

Mariluce Moura
DIRECTORA DE REDACCIÓN

"Aún no había osado hundir mi investigadora mirada en aquel pozo insondable en que me iba a sepultar. Había llegado el momento. Todavía estaba a tiempo de decidirme a tomar parte en la empresa o renunciar a intentarla."

El hermoso reportaje de tapa de la presente edición especial de *Pesquisa FAPESP* me inspiró un irreprimible deseo de volver a leer *Viaje al centro de la Tierra*, el clásico de Julio Verne, de 1864. Y por una asociación absolutamente primaria: el artículo aborda estudios que, aunque dejan a un lado el sueño del descenso real a las más remotas profundidades del planeta –parcialmente realizado sólo por el audaz profesor Otto Lidenbrock en la ficción francesa–, también las escrutan incansablemente. Por supuesto que de una forma menos riesgosa, valiéndose de herramientas más adecuadas al siglo XXI, como lo son las simulaciones en computadora, tomando distancia de las escabrosas aventuras ochocentistas. Y de esos sondeos virtuales al interior del planeta, los responsables de tales estudios, físicos más que geólogos, han regresado con nuevos conocimientos sobre la estructura y las transformaciones de minerales que se forman a miles de kilómetros de la superficie terrestre, con una reforzada hipótesis sobre la existencia de un volumen de agua mayor que un océano, distribuida "entre la densa masa rocosa ubicada bajo nuestros pies", tal como lo expresa nuestro editor especial Carlos Fioravanti, a partir de la página 14.

Tal vez haya sido la referencia a esa masa de agua existente en el interior de la Tierra, con la palabra océano –tan sugestiva de algo tan vasto – como medida sensible de su volumen, lo que me condujo a Verne. Así surgió en mi memoria, un tanto embotado, aquel inmenso mar subterráneo ficcional situado en el camino hacia el centro del planeta, habitado por formidables animales prehistóricos que se trababan en terroríficas contiendas, sacudido por cataclismos, y cortado por vertiginosos abismos. Sumidos en ese

mar con sus asombrosos eventos, se hallaban un tanto desvanecidos en mis recuerdos los tres aventureros creados por el famoso escritor: Lidenbrock, su sobrino Axel, quien narra la aventura, y Hans, el valiente y circunspecto guía islandés. Necesitaba revivir esas imágenes, verificar de qué modo el reportaje contemporáneo de *Pesquisa FAPESP* las había hecho emerger de sus remotos refugios mentales, y por eso acudí sedienta al libro.

Me topé, en primera instancia, con la pasión declarada de Verne por la ciencia, de cuya naturaleza, podríamos decir que iluminista en sentido lato, no me percatara a mis remotos 10 u 11 años de edad. "Te digo, Axel, que la ciencia es eminentemente susceptible de perfeccionamiento y cada teoría es a cada momento obstruida por otra teoría nueva", le advierte Lidenbrock en una charla, a su sobrino y discípulo. De las enseñanzas en el abismo surgen alusiones al método científico: "La ciencia, hijo mío, está llena de errores; pero de errores que conviene conocer, porque conducen poco a poco a la verdad". Las afirmaciones sobre el carácter del conocimiento científico se entremezclan con la descripción de las teorías geológicas, cosmológicas o biológicas objeto de debate en aquella época y con las soluciones tecnológicas y técnicas. Y sin embargo, todo ello está de tal manera incluido y ensamblado en la estructura de la poderosa narrativa de Julio Verne, tan entrañado en la aventura cargada de tensiones rumbo al centro de la Tierra, tan amalgamado con las invenciones fantásticas de la imaginación del autor, que se torna pasible de absorción inteligente en una experiencia pura de placer. En eso pensaba mientras acababa la lectura del libro y, de repente, experimenté una antigua y maravillosa sensación que, en un tiempo lejano, varios de los trabajos de Julio Verne provocaban en mí: la de que es posible hacer, rehacer, transformar, crear, aventurarse en lo desconocido y descubrir mundos. Sólo que en ese entonces yo no sabía aún el nombre de la herramienta básica que Verne identificaba para toda esa potencia de ser.

Por otra parte, desde la página 54, el resultado de un estudio científico realizado en el campo de la historia de la ciencia merece, entre otros posibles adjetivos, la calificación de excitante. Porque el relato sobre las peripecias que condujeron al hallazgo de un polvo capaz de sugerir un vínculo material entre la alquimia y la química, en la honorable Royal Society inglesa, excita, de inmediato, la imaginación y la propensión tan humana a develar o al menos seguir los relatos en que se dilucidan misterios.

Y el interés por una historia así se acentúa cuando se sabe que dicha sustancia, luego de dormitar unos 350 años en un sobre cerrado entre otros documentos, en los archivos de la institución, fue hallada por dos investigadoras brasileñas: nada más comprensible entonces que la hinchada entusiasta por nuestro "cuadro". Puede decirse que se trata de un dúo empeñado desde hace varios años en examinar determinados períodos de la historia de la ciencia a los efectos de entender de qué modo la construcción del conocimiento científico se alimenta con afluentes de múltiple naturaleza, incluso de aquéllos que, desde nuestra mirada contemporánea, se plantean como radicalmente anticientíficos. Y, en esta ocasión, ellas seguramente dieron otros importantes pasos en ese nuevo montaje de la historia de la ciencia contemporánea. Vale la pena verificarlo en el hermoso reportaje de nuestro editor de humanidades, Carlos Haag, que incluyó en el estudio del tema una inmersión *in situ,* en los documentos guardados en Londres.

El maestro de la hipertensión

El fisiólogo creó en el Instituto del Corazón el grupo más importante de investigación integrada sobre presión arterial de Brasil

Mariluce Moura y Ricardo Zorzetto

PUBLICADO EN JULIO DE 2012

Uno de los planes que tenía en mente el joven *gaúcho* Eduardo Moacyr Krieger, cuando se recibió de médico en Porto Alegre, en 1953, era convertirse en cardiólogo y trabajar en la Facultad de Medicina. Pero pronto se desviaría para siempre de ese camino, debido a la influencia decisiva de dos eminentes argentinos, los fisiólogos Bernardo Houssay, Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1947, y Eduardo Braun Menéndez, responsable del descubrimiento de la angiotensina, en 1940. En este caso, en lugar de quejarnos ante los vecinos como es costumbre, sólo nos cabe a los brasileños agradecerles, ya que quien más se benefició con ese cambio de rumbo fue el campo de la fisiología cardiovascular del país y, especialmente, la investigación sobre la hipertensión. El profesor Krieger, de 84 años, más allá de sus pioneros aportes directos al conocimiento de los mecanismos de control de la presión arterial, fue el creador, ya en la década de 1950, de un importante grupo de investigación en la Facultad de Medicina de la Universidad de São Paulo (USP), en su sede de la ciudad de Ribeirão Preto, y posteriormente, en 1985, del más respetado grupo de investigación integrada en hipertensión del país, con gran inserción internacional: el del Instituto del Corazón (InCor) del Hospital de Clínicas de la USP de la ciudad de São Paulo.

Krieger, uno de los nueve hijos de un comerciante de origen alemán radicado en el pequeño municipio de Cerro Largo, cerca de la frontera de Rio Grande do Sul con Argentina, y el único elegido por la familia para estudiar en la facultad, en simultáneo a sus actividades de profesor e investigador, siempre mantuvo una cierta atracción por la política académica. Y en ese punto de su currículo, entre varios otros, cabe destacar su trabajo, durante 14 años, como presidente de la Academia Brasileña de Ciencias (ABC), cargo en el que procuró incansablemente mejorar la posición de la ciencia y de la comunidad científica del país en el ámbito internacional.

El profesor Eduardo Moacyr Krieger, padre de dos respetados científicos, José Eduardo Krieger y Marta Helena Krieger, y abuelo de tres nietos, casado con doña Lorena desde hace 55 años, es vicepresidente de la FAPESP desde 2010 y, mientras finaliza otro proyecto temático que coordina, asume en este momento un nuevo reto: organizar la disciplina y un grupo de medicina traslacional en el InCor. A continuación, transcribimos los principales tramos de la entrevista que le concedió a la revista *Pesquisa FAPESP*.

Comencemos por la línea de investigación a la que usted mayormente se ha dedicado, los mecanismos de regulación de la presión arterial. ¿Cómo empezó eso?

En realidad, empecé cuando comenzó mi carrera científica. Recién recibido en Porto Alegre, en la Facultad de Medicina, me topé con el grupo de fisiólogos argentinos conducido por el profesor Bernardo Houssay, Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1947. Y entre sus discípulos se hallaba Eduardo Braun Menéndez, quien en 1940 había descubierto la angiotensina, una de las sustancias importantes en la regulación de la presión arterial. Yo quería desarrollar una carrera en la universidad y, en 1954, ese grupo vino a Porto Ale-

gre mediante un programa de la Capes [la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior]. Ellos venían por turnos y se quedaban un mes. El propio Bernardo Houssay pasó varios meses en Porto Alegre. Como a mí me interesaba la cardiología, en esa oportunidad trabajé con Braun Menéndez. Luego fui a Buenos Aires, y permanecí allá siete u ocho meses, trabajando con el sistema renina-angiotensina.

¿En el laboratorio de quién?

Del profesor Bernardo Houssay, quien hacía casi 10 años estaba fuera de la universidad. El grupo fue expulsado de la Facultad de Medicina en 1943, a causa de sus manifestaciones contra la dictadura militar. Houssay era un patriota, siempre decía que la ciencia no tiene patria, pero el investigador sí la tiene, e incluso siendo premio Nobel, nunca quiso salir de Argentina. Trabajaba allá en condiciones precarias, en una casa adaptada perteneciente a la familia de Braun Menéndez, que tenía mucho dinero. Cada cuarto se convirtió en un laboratorio. La casa estaba ubicada en la calle Costa Rica, en un barrio bastante alejado [Palermo]. La gente de la facultad de medicina no conocía mucho a Bernardo Houssay, y cada semana llegaban a su laboratorio grandes investigadores de todo el mundo. El ambiente era fantástico. Junto a la casa principal había una casita a la que se llegaba atravesando una verja en el jardín. Ahí funcionaba el laboratorio de bioquímica de Louis Leloir, premio Nobel de Química en 1970. Ése era el ambiente, plagado de premios Nobel presentes y futuros, al cual yo llegara pensando solamente en realizar una pasantía, regresar a Brasil y estudiar cardiología. Pero todo eso despertó mi interés por la investigación básica y por eso luego viajé a Estados Unidos para completar mi formación científica. Estuve en la Universidad de Georgia, en el sur de Estados Unidos, un lugar que me recomendó Bernardo Houssay, porque, según él, allí se encontraban los mejores fisiólogos cardiovasculares. Yo iba con una beca otorgada por la Fundación Rockefeller, que indicaba que debía dirigirme a una universidad de la costa este o de la costa oeste. Pero Houssay me dijo: "La de Georgia puede que no sea la mejor universidad, pero cuenta con el mejor investigador cardiovascular".

¿Y quién era?

Era William Hamilton. Con él trabajaba Raymond Ahlquist, quien descubrió los adrenorreceptores alfa y beta. Así fue que yo aprendí todo sobre los receptores con su propio creador. Fue algo muy bueno, permanecí algo más de un año y adquirí una capacitación fantástica en fisiología y farmacología cardiovascular. Allá recibí una invitación para dirigirme a Ribeirão Preto, porque se estaba organizando la universidad, estaban buscando personalidades de renombre en el exterior y querían a alguien del grupo de Bernardo Houssay. La universidad encontró a Miguel Covian, en Argentina. Él vino a Ribeirão Preto y me invitó a formar parte del grupo cardiovascular. En Estados Unidos tomé la decisión de, en lugar de regresar a Porto Alegre, dirigirme a Ribeirão. Yo no conocía, pero sabía que formaba parte de la USP y eso era una buena información. Sabía que era una universidad que estaba recibiendo un gran aporte de la Fundación Rockefeller para dedicarse a la ciencia. Llegué ahí en 1957. Se estaba recibiendo la primera promoción, que había comenzado en 1952, y me encontré con un ambiente notable, cautivante, una segunda facultad de medicina de la USP, pero íntegramente dedicada a la investigación.

¿Básica?

Y clínica. Ribeirão Preto fue pionera en Brasil en cuanto a dedicación exclusiva en el área clínica. Empecé a realizar investigaciones en regulación de presión en hipotermia hasta que llegara un equipamiento desde Estados Unidos. Yo necesitaba estudiar reflejos para examinar cómo funcionaban el sistema nervioso y la regulación de la presión a temperaturas cada vez menores. Tenía que estimular el sistema de varias formas: refleja, central o periférica. Fue muy interesante, ya que en esa investigación de los reflejos, cuyo campo conocía bien, descubrí que en las ratas, el nervio que controla y brinda información sobre la presión arterial, al que denominamos barorreceptor o presorreceptor, se ubicaba en la región cervical. Eso constituía una novedad. Me concentré en ese nervio y decidí hacer un estudio sistemático de las vías de tráfico de barorreceptores en las ratas. Así logré una denervación completa del sistema, un modelo utilizado hasta hoy. Es mi trabajo con mayor cantidad de citas, unas 600. Fue publicado en 1964 en *Circulation Research*, una revista bastante importante. Se trata de un trabajo relevante surgido de una observación casual. Yo no buscaba eso. Pero habiéndolo encontrado, decidí realizar un estudio sistemático. Surgieron varios trabajos, acerca de cómo conducen esos nervios sus características en las ratas para regular la presión arterial.

¿Recuerda el día en que ocurrió el descubrimiento?

Lo recuerdo, era al final de los años 1950, comienzo de los 1960. Todavía no teníamos alumnos de posgrado (eso ocurriría recién a partir de 1970), pero había un grupo que siempre venía desde Buenos Aires a Ribeirão Preto en vacaciones y cada laboratorio mostraba lo que estaba haciendo. Al realizar unas demostraciones para ellos, noté que, al estimular la parte central del nervio vago, a veces lograba un aumento y, otras veces, una caída de presión. Aquello me resultó extraño y un día les dije que durante la experiencia intentaría saber si lo que estaba verificando era cierto, o sea, que el curare suministrado al animal estaba provocando la inversión de la respuesta. Entonces suministramos el curare, estimulamos el nervio vago, y no sucedió absolutamente nada. Entonces lo observé con una lente mayor y verifiqué que no se trataba solamente de un nervio, sino de dos. Junto al vago, un nervio mayor de la parte central que puede aislarse y estimularse fácilmente, observé que había otro más pequeño, el simpático, que en la mayoría de las especies no se separa, pero en las ratas estaba separado. Entonces estimulé ambos, y descubrí que uno sólo producía caída de presión y el otro, solamente aumento. Así descubrí que en las ratas puede aislarse el simpático del nervio vago y que aquél contiene las fibras barorreceptoras aórticas. ¡Y eso era maravilloso!

Comencé mi carrera con Eduardo Braun Menéndez, discípulo del Premio Nobel Bernardo Houssay

Su conclusión fue: "Acabo de descubrir algo que nadie conocía".

Realicé un estudio sistemático, publiqué varios trabajos sobre cómo transitaban esos nervios; dos o tres revelaban las posibilidades de trabajar con los barorreceptores en ratas. En ese entonces publiqué el conocido trabajo de denervación de los barorreceptores. Estaba entusiasmado, ya que una de las cosas más importantes en mi trabajo era saber cómo se adapta el sistema nervioso a las hipertensiones. Y el barorreceptor está siempre implicado en ese proceso. Con cada latido cardíaco, descarga, porque la presión aumenta, distiende el vaso y excita a los receptores. Los barorreceptores son la principal fuente de información para lograr mantener la presión en los parámetros normales. Cuando la presión sube y las descargas aumentan, inhibimos el simpático para disminuir la presión. Del mismo modo, la excitación de los barorreceptores estimula al nervio vago para disminuir la frecuencia y el gasto cardíaco, estimulando la normalización de la presión arterial. Es muy conocido que en la hipertensión crónica no hay bradicardia, lo que revela que el reflejo se encuentra adaptado. Por eso decidí estudiar cómo trabaja ese nervio durante la hipertensión. Había verificado que cuando aparece la hipertensión, que en ese momento es aguda, esos nervios se adaptan, luego de un tiempo. Por eso un hipertenso no presenta reducción de la frecuencia cardíaca; pero eso si sucede si la presión sube repentinamente, porque

aparece el reflejo. En otras palabras, el reflejo se adapta crónicamente.

Usted se refería a una bradicardia.
Así es, una reducción de la frecuencia cardíaca que es uno de los principales indicadores del funcionamiento del barorreceptor. Cuando se aumenta el estímulo, éste produce bradicardia y vasodilatación por disminución del simpático. Ése es el reflejo principal y se encuentra adaptado en los casos de hipertensión, eso ya se sabe. El problema residía en conocer cómo ocurre. Había un trabajo con perros, según el cual la adaptación se iniciaba cuatro o cinco días después del aumento de la presión arterial. En el caso de las ratas, un modelo en el que se puede controlar mejor la presión, uno de los primeros trabajos que hice fue la secuencia de adaptación de los barorreceptores en la hipertensión. Provoqué una hipertensión súbita por coartación de la aorta [compresión], traté de mantenerla constantemente elevada y demostré que después de seis horas ya se verifica una pequeña adaptación, de un 30%, y pasadas 48 horas, prácticamente todos los animales se encuentran adaptados. ¿En qué consiste la adaptación? Es el desplazamiento del umbral de estimulación, trasladando todo el rango de funcionamiento de los barorreceptores. Demostré que una adaptación completa insume 48 horas, en algunos animales algo más o algo menos. Digamos, por ejemplo, de cada 10 animales, nueve habían realizado una adaptación completa en 48 horas. Realicé varios trabajos al respecto y también intenté demostrar cómo, cuando la presión arterial retorna a la normalidad, también se normaliza la adaptación. Estudiaba con modelos de hipertensión renal, algo que ya hacíamos desde tiempo atrás con Braun Menéndez, colocando un clip en la arteria renal para provocar en la rata una hipertensión crónica y el barorreceptor adaptado. Después provocaba una reversión, también súbita de la hipertensión, retirando el clip, y verificaba cuánto tiempo insumía. Demostré que para la reversión se necesitaban seis horas. Lo que buscaba con eso era entender cómo se comporta el principal mecanismo de reflejo de control con las diferentes alzas y caídas de presión. ¿Éste se adapta? ¿Cómo? Posteriormente demostraría que se adapta, el rango de funcionamiento sube hacia los niveles de hipertensión, pero su sensibilidad pasa a ser diferente, disminuyendo, tal como revelamos por primera vez en la publicación. Podemos probar la sensibilidad del mecanismo variando agudamente la presión y observando cómo se comporta la descarga del barorreceptor que se encuentra en la pared de la arteria y que envía información hacia el sistema nervioso central. Es posible comparar la curva de descarga de un animal normal con la de uno hipertenso, que es más inclinada, más recostada.

Houssay decía que la ciencia no tiene patria, pero el científico sí; por eso no quiso salir de Argentina

¿Ése es su artículo de 1970?
No, el de 1970 muestra la secuencia de la adaptación. Luego publiqué varios artículos mostrando la reversión. Después, otros revelando que en la hipotensión –algo clínicamente muy raro– también ocurre adaptación en alrededor de 48 horas, y reversión bastante rápida. La sensibilidad es otra cosa y ahora todo eso volvió a tener implicación clínica. Porque si alguien por cualquier causa sufre una hipertensión y el mecanismo principal de regulación se encuentra adaptado, pero presenta menor sensibilidad, es menos eficiente para controlar la presión. La presión varía constantemente, cuando uno duerme, se sienta, se pone de pie, corre, en fin, sube o baja según circunstancias fisiológicas. Cuando se cuenta con un sistema de regulación menos eficiente, las fluctuaciones resultan mucho mayores. Y ahí aparece la explicación: todo hipertenso que presenta el barorreceptor adaptado, con una sensibilidad menor, sufre mayor variabilidad de presión. ¿Y eso qué significa? Ya está probado que no sólo el nivel, sino también la variabilidad lesiona mucho los vasos. Y en los últimos años se resolvió retomar algo que en el pasado no había funcionado muy bien, que es la estimulación del barorreceptor para disminuir el simpático y reducir la presión arterial. Mediante el perfeccionamiento de las tecnologías se hizo posible implantar electrodos en la carótida del paciente que, aparentemente, no dañan tanto el vaso y producen una estimulación más de campo. Actualmente hay varios trabajos citados en la literatura del tema que revelan que, en hipertensiones resistentes, la estimulación del barorreceptor puede constituir una medida terapéutica.

¿Qué papel cumple el riñón en la regulación de la presión arterial?
Ya no quedan dudas de que la hipertensión primaria es multifactorial. Ella ocurre por desequilibrio entre los mecanismos presores y depresores. Entre los primeros, el más antiguo estudiado es el simpático, que controla el calibre de los vasos y el gasto cardíaco. Luego vino el sistema renina-angiotensina. La renina ya se conocía desde el final del siglo XIX, pero el mecanismo que provoca el aumento de presión, la angiotensina, fue descubierto por Braun Menéndez, simultáneamente con [Irvine] Page en Estados Unidos. Eso fortaleció el mecanismo del sistema renina-angiotensina-aldosterona. La angiotensina estimula la glándula adrenal para que produzca aldosterona, lo cual provoca retención de sal. Estos son los dos mecanismos más conocidos. En tanto, los mecanismos depresores involucran a las cininas, tales como la bradicinina, descubierta en el Instituto Biológico, en São Paulo, por Maurício Oscar da Rocha e Silva, en 1948. Hubo un gran avance cuando Robert F. Furchgott, quien ganó el premio Nobel, descubrió hace dos décadas que el

endotelio, en lugar de tan sólo proteger el vaso e impedir la coagulación, es una fábrica de productos hipertensores e hipotensores. Entonces se descubrió que el óxido nítrico (NO) es el gran hipotensor, y que presenta una acción tónica. Dentro de cada sistema que se consideraba presor o depresor, en realidad hay elementos presores y antipresores. Por lo tanto, los mecanismos de regulación de la presión son muy complejos. ¿Pero por qué alguien se vuelve hipertenso? Con los datos que tenemos hasta ahora sabemos lo siguiente: en primer lugar, el sistema de regulación de la presión arterial está íntimamente relacionado con los genes. Los mecanismos que controlan la presión forman parte de una carga genética. La síntesis de los mecanismos presores y depresores es realizada por los genes, por ende la carga genética puede facilitar la producción de sustancias presoras o formar menor cantidad de sustancias hipotensoras. En nuestra carga genética ya contamos con alguna predisposición para ser hipertensos o no. Pero no basta con poseer esa predisposición, el problema siguiente es el medio ambiente, que está todo el tiempo suscitando la regulación de la presión arterial.

Y cuando usted habla de medio ambiente...

Me refiero a la sal, la inactividad, la obesidad, el estrés y, actualmente, la inflamación. Todo ello, de una forma u otra, afecta al sistema de regulación. Entonces, si uno cuenta con un buen sistema de regulación, puede ocurrir cualquier cosa, que no sucederá nada con su presión. Si uno posee un sistema muy malo, puede mantenerse sin comer sal, tirado descansando, que igual sufrirá hipertensión. Ése es el estado del arte actual al respecto de la hipertensión esencial, como resultado de la combinación del campo personal con el medio ambiente. No podemos modificar ese campo, a menos que en un futuro se logre –y lo vamos a lograr– conocer la carga genética de cada uno. Así incluso se podrá hacer una asesoría conjunta a partir de esa carga, en lo referente a la hipertensión.

Usted ya estudiaba el campo de la fisiología, mecanismos de regulación, etc., cuando ocurrieron los grandes avances de la genética durante los últimos años. ¿En qué medida esos avances ayudaron a encaminar algunos experimentos?

Durante 28 años, en Ribeirão Preto, junto a los alumnos de posgrado –y tenía muchos alumnos–, las líneas de investigación estaban casi todas relacionadas con el sistema nervioso y los mecanismos de regulación de la presión arterial. Entonces vine a São Paulo y continué con esa línea investigativa.

¿Cuándo vino a São Paulo?

En 1985 me jubilé en Ribeirão y vine a São Paulo, a los 56 años de edad. Sucede que me invitaron a desarrollar el área de hipertensión en el InCor en forma integrada. Y así comenzó la fase clínica. Vine para proseguir con mi investigación experimental, que era lo que yo sabía hacer y contaba con reconocimiento internacional por lo que estaba haciendo. Pero también quería hacer investigación clínica y en Ribeirão Preto trabajaba en el Departamento de Fisiología solamente con animales de laboratorio. Aquí tuve la oportunidad de desarrollar toda una línea de investigación con pacientes. Estudié la regulación de la presión durante el sueño y los ejercicios. También intentamos estudiar la influencia de los reflejos en la presión arterial, investigando el preso y el quimiorreceptor, el sistema cardiopulmonar. Desarrollamos una técnica de registro del [funcionamiento del sistema nervioso] simpático, que se mide mediante una aguja insertada en el nervio peroneo. Pudimos observar la actividad basal del simpático y cómo se comporta en diferentes circunstancias. En definitiva, montamos una línea de investigación muy grande. También estudiamos la función de los barorreceptores en el sueño y a partir del trabajo de uno de nuestros colaboradores con el grupo de Geraldo Lorenzo, de aquí del InCor, que estudia el sueño, una de las líneas importantes de hipertensión en el InCor, que es la regulación de la presión en el sueño. La apnea del sueño está fuertemente relacionada con la presión arterial. Durante la apnea, disminuye el nivel de oxígeno y aumenta el de dióxido de carbono. Eso estimula a los quimiorreceptores, que se encuentran ubicados en la carótida y son sensibles a la tensión de los gases. Cuando se deja de respirar, los gases se alteran, estimulando a los quimiorreceptores, y la presión sube. El efecto de esos accesos luego de algún tiempo provoca consecuencias permanentes.

Alguien con su sistema de regulación disminuido puede no comer nada de sal, quedarse tirado descansando, e igual será hipertenso

¿La apnea del sueño altera la presión?

Es bastante común asociarla con la hipertensión. Cuando se corrige la apnea, la presión tiende a disminuir.

Continuando, esa interacción...

Ahí aparece la parte clínica. Contábamos con clínicos, cardiólogos y neumólogos. Pero también estaba la gente de educación física, que es el grupo de Carlos Eduardo Negrão, que comenzó aquí haciendo investigación con animales de laboratorio y luego con seres humanos. Actualmente él cuenta con una línea independiente. En el ámbito de la enfermería, comencé a armar proyectos en los que las enfermeras controlan los problemas de adhesión al tratamiento. Y seguidamente apareció la biología molecular, que ingresa en forma interesante. Mi hijo se recibió en Ribeirão Preto en 1984. Viajó a Estados Unidos e hizo un doctorado experimental, en fisiología clásica guytoniana. Guyton fue uno de los mejores fisiólogos. Él terminó el

doctorado a comienzos de 1990, cuando la biología molecular estaba ingresando firmemente en el estudio de la hipertensión. Terminó el doctorado y se dirigió a Harvard y luego a Stanford para estudiar la biología molecular de la hipertensión. A su regreso, se integró a nuestro grupo. El primer trabajo que hicimos fue aparear ratas hipertensas con ratas normales. Luego de dos cruzamientos, los nietos serán muy heterogéneos, con presiones variadas y demás. Entonces la idea era examinar a los nietos. Si ellos son hipertensos, es porque heredaron algo del abuelo hipertenso. Así que estudiamos su genoma para examinar las diferencias en relación con los que presentan tensión normal.

Ahí entonces identificaron algunas regiones cromosómicas...

Fue nuestro primer trabajo asociado. Hallamos cinco regiones relacionadas con la hipertensión. Los proyectos que presenté en la FAPESP durante los últimos 10 años siempre fueron temáticos, integrados, donde hay una parte experimental y otra parte clínica. Eso es lo que hice durante los últimos años. Ahora estoy estudiando otro campo. He conformado, y eso es lo que vine a hacer aquí, un equipo integral de profesionales en fisiología, clínica, biología molecular, educación física, enfermería, psicología, nutrición, todos dedicados al estudio de la hipertensión.

Ése es el gran equipo de avanzada en los estudios de la hipertensión en Brasil.

Sin duda. Logramos sobresalir. Uno de los primeros que salió del grupo se dirigió a Milán para abordar la monitorización de la presión arterial. Otro viajó a París para estudiar la propiedad elástica de los vasos sanguíneos y cómo se alteran en la hipertensión. Otro se dirigió a Charleston para estudiar el metabolismo en la hipertensión. Luego viajó otro para observar la parte neurogenética. El último fue a estudiar apnea del sueño en la John Hopkins. El del InCor es un grupo de punta, pues hace una integración del conocimiento.

Y usted, como padre de ese grupo, siente un gran orgullo por todo eso.

Sí, por supuesto. En Brasil, formé a 32 ó 33 doctores y unos 10 de ellos ya son docentes titulares. Hay gente muy capacitada. En Belo Horizonte, contamos con un grupo de fisiología *top* a nivel mundial. Ellos estudian la angiotensina 1-7, que es diferente porque es la angiotensina buena. Ese grupo, de Robson Augusto dos Santos, patentó y está desarrollando en conjunto con laboratorios brasileños, compuestos con potencial de convertirse en medicamentos. Y Maria José Campagnole dos Santos es otra docente titular. Ambos trabajaron conmigo en Ribeirão Preto. También está Kleber Franchini, en Campinas, quien también hizo su doctorado conmigo. También estudia con una molécula y está intentando producir la innovación con la industria brasileña. En el grupo de Ribeirão hay dos o tres docentes titulares. Lisete Michelini, quien trabajó allá conmigo, dirige el sector de fisiología cardiovascular en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la USP.

Ubicamos cinco regiones cromosómicas relacionadas con la hipertensión en nuestro primer trabajo sobre biología molecular

Usted publicó más de 200 artículos científicos. ¿Cuál fue el más importante para el conocimiento de la hipertensión?

Yo diría que es la serie de artículos en que revelé el funcionamiento de los barorreceptores. Se trata de la secuencia de adaptación de esos receptores en la hipertensión y en la hipotensión, y la sensibilidad de los mismos. Junto a Lisete Michelini, estudié el mecanismo mediante el cual ellos se adaptan. Logramos demostrar que la secuencia de adaptación es la misma de la dilatación de la aorta en la hipertensión. Asociamos la adaptación con las alteraciones que ocurren en el vaso sanguíneo. Justamente, en el Departamento de Fisiología de Ribeirão contaba con un colega espectacular, José Venâncio de Pereira Leite, dueño de una cultura técnica y científica fantástica. Nosotros le trasladábamos los problemas a él, quien intentaba resolverlos. Entonces le expuse la siguiente cuestión: yo necesitaba saber cómo se comporta el sitio donde se encuentran los barorreceptores en los casos de hipertensión aguda. Según los libros, podía contar con un Strain Gauge [un dispositivo que se utiliza para medir el estrés de un objeto], que consistía en un catéter de silicona relleno con mercurio que funcionaba en uno de los extremos del puente de *wheatstone* [un medidor de la resistencia eléctrica]. El tubo se colocaba en el corazón, o en otro sitio, y era muy utilizado en medicina. Pero en la aorta de las ratas, que es muy pequeña, no era factible, porque el mercurio se separaba y demás. José Venâncio halló una forma: produjo una solución saturada de nitrato de cobre y funcionó perfectamente. Llenábamos el catéter con ese líquido, que es conductor y posee cierta estabilidad, y funcionaba dos o tres días, lo suficiente como para permitir la realización de los experimentos. Él desarrolló eso junto con Lisete, que era alumna de posgrado. Logramos realizar varios trabajos importantes, demostrando cómo funciona el calibre de la aorta en la hipertensión. Relacionamos el tiempo de adaptación con el tiempo de modificación del vaso y observamos que el vaso se adapta. Durante las primeras seis horas resiste al aumento de presión, y luego sobreviene una leve adaptación de los barorreceptores. La adaptación completa, a las 48 horas, varía un poco, de una rata a otra, y ocurre cuando la aorta se distiende. Entonces alcanza un nuevo umbral y así comienza a funcionar, digamos, normalmente. Si anteriormente ya funcionaba así, y el receptor ya estaba allí, entonces comienza a funcionar con el calibre dilatado y el receptor comienza a ser estimu-

lado de manera parecida, aunque no igual, porque sus dimensiones son diferentes y la sensibilidad se reduce.

Cuando esa aorta se ha dilatado más, porque ha acabado adaptándose al proceso, ¿no determina que el flujo sanguíneo sea más lento? ¿El sistema circulatorio no se ralentiza?
No, porque todo el problema de la hipertensión ocurre a nivel de las arteriolas, el aumento de la resistencia aparece ahí. La aorta sufre las consecuencias por tener que aumentar la presión para vencer la resistencia. Ella se adapta, porque es muy elástica. Ella almacena parte del volumen sistólico. El corazón late, y si la arteria fuera rígida, la sangre fluiría directamente hacia los capilares y nos quedaríamos sin sangre durante la diástole, nos desmayaríamos. El sistema arterial es muy interesante porque las arteriolas poseen una resistencia enorme, son como pequeños grifos, bastante estrechos. Entonces, cuando el corazón bombea sangre, hay más posibilidades de distender las arterias grandes para que acumulen que hacer pasar la sangre por allí. Así, las arterias acumulan sangre. Cuando el corazón deja de bombear sangre y entra en diástole, cuyo tiempo corresponde al doble del de la sístole, las grandes arterias liberan la sangre acumulada. En el vaso capilar, donde lo que interesa es el intercambio, el flujo resulta continuo, gracias a ese mecanismo fantástico, pero peligrosísimo. Basta que se modifique un poco el grifo para que aparezca la hipertensión. Es un mecanismo maravilloso creado por la naturaleza, y sin él nuestro sistema sería precario. ¿Cómo suministrar oxígeno a las células cerebrales que necesitan constantemente sangre nueva? Se necesita poseer una bomba elástica y alta resistencia.

Usted se retira de la coordinación de su grupo en el InCor. ¿A qué se dedicará?
Tengo dos tareas por completar: un proyecto temático, que durará algo más de un año, con el cual estamos intentando obtener biomarcadores de la evolución terapéutica de los pacientes, para saber si un paciente puede responder mejor o peor ante un tratamiento; y un proyecto del Ministerio de Salud y del CNPq sobre hipertensión resistente, en el cual participan 26 centros y hospitales universitarios. Queremos conocer el porcentaje de brasileños resistentes a las terapias contra la hipertensión.

¿Hay alguna hipótesis?
Sí. En los países desarrollados, entre un 20% y un 30% de los pacientes, incluso recibiendo un tratamiento adecuado, permanecen hipertensos. En Brasil no existen trabajos de fuste. En una primera instancia, los pacientes serán sometidos al tratamiento normal, con las dosis adecuadas y controladas. Monitorearemos la presión para descubrir ese porcentaje. A continuación, dividiremos en grupos aleatorios a los pacientes resistentes y veremos cuál es la mejor medicación para ellos, una que actúe en el sistema nervioso central o una que actúe sobre el sistema renina-angiotensina-aldosterona. Esto es lo que llamamos medicina traslacional, que cuenta con dos aspectos. El primero consiste en transferir el conocimiento a la clínica. El segundo consiste en transformar lo que se evidencia en la investigación clínica en medidas de salud pública. Falta algo más de un año para terminar. Vamos por los mil de los dos mil pacientes que necesitamos evaluar.

En mis trabajos más importantes demostré la acción de los barorreceptores en la hipertensión

El concepto de medicina traslacional tiene unos 10 años...
El término es nuevo, pero el concepto de investigación traslacional es antiguo, se remonta a la década de 1940. Durante la guerra, debido a la necesidad de contar con tecnología militar, se creó el Valle del Silicio en asociación con la Universidad de Stanford. Aquello simbolizaba la rapidez con que el conocimiento se transmite desde la universidad hacia el sector privado. Ahí se inició un círculo virtuoso resultante del rápido pasaje del conocimiento hacia la aplicación. La medicina tardó para llegar a eso. Comenzó hace 12 años. En primera instancia el Instituto de Medicina de la National Academy of Sciences comenzó a debatir por qué no avanzaba la investigación clínica en el país, tal como lo hacía la investigación básica biomédica, que lo hace de manera notable. Los NIH [los Institutos Nacionales de Salud] comenzaron a preocuparse por ello y el paso principal se dio cuando Elias Zerhouni asumió como presidente de los NIH. Zerhouni trazó el denominado *road map* de los NIH en tres grandes campos: las áreas estratégicas que necesitaban estudiarse, la formación de equipos multidisciplinarios y la reingeniería de la investigación clínica o medicina traslacional. Él creía necesario hacer un esfuerzo para que la investigación clínica beneficiara a la salud pública. Crearon el programa para financiar los núcleos de medicina traslacional en las universidades. Comenzaron con 10 ó 12 universidades entre 2007 y 2008 y actualmente son unas 40 ó 50. Los NIH pretenden financiar la gestión de la investigación universitaria. Se pretende contar con núcleos de integración en las universidades, principalmente en el área de la salud, que produzcan el avance del conocimiento básico interactuando con otras disciplinas (física, química, informática, etc.), y que el conocimiento llegue rápidamente a la clínica y a la salud pública. Visité la Universidad de Pensilvania, que posee un núcleo de medicina traslacional que es maravilloso.

Ahí entonces pensó: ¿cómo hago algo similar en Brasil?
Pensé: el InCor nació traslacional, con la

idea de que el conocimiento precisa pasar del laboratorio hacia el lecho del paciente. Entonces creí que era hora de contar con una disciplina denominada cardiología traslacional. Intento ayudar a la gente a concebir proyectos e introducir innovaciones, una de las cosas que compete a ese tipo de medicina. Hubo un simposio sobre innovación en el InCor, realicé una revisión de la ley federal de innovación, la Ley del Bien, y de la ley estadual, mostrando la importancia de contar con núcleos de innovación tecnológica en varios centros. También estoy ayudando al director a internacionalizar las actividades en la Facultad de Medicina.

¿Y qué puede decir de su experiencia en la Academia Brasileña de Ciencias?

Fueron 14 años. Me convertí en presidente en 1993 y, en 1997 ó 1998, la academia recibió una invitación para integrar una especie de federación de academias, el Inter-Academy Panel, IAP, con casi un centenar de asociados. En el 2000 realizamos una reunión en Tokio y se aprobó el estatuto. Me eligieron presidente para representar a los países en desarrollo entre 2000 y 2003. También representé a la ABC en el Interacademy Council, compuesto por 13 academias. Esas dos entidades proporcionaron inserción internacional a la ABC. Conocí la política científica, cómo se ayudan las academias, las temáticas globales a las que deben dedicarse las academias y los investigadores. Pero quiero destacar que mi arribo a la presidencia de la ABC coincidió con una oportunidad de participar en la política nacional. José Israel Vargas fue nombrado ministro de Ciencia y Tecnología cuando se desempeñaba como vicepresidente de la ABC. Él promovió a la academia, que logró reconocimiento a nivel nacional. La SBPC dominaba ese ámbito. Logramos equilibrar el juego y ahora ambas son consideradas importantes, se entienden y colaboran.

¿Usted ayudó en la creación del* Brazilian Journal of Medical and Biological Research*?

Yo era presidente de la Sociedad Brasileña de Fisiología. Manteníamos conversaciones con la gente de bioquímica y de farmacología que trabajaba en ese momento, para que las áreas básicas de la biomedicina crearan una revista nacional en inglés, ya que se contaba con trabajos y densidad suficientes. Fuimos convocados por Alberto Carvalho da Silva, que era fisiólogo, y por funcionarios del CNPq, con la siguiente idea: Michel Jean, hematólogo, había creado la *Revista Brasileira de Pesquisas Metrobiológicas*, que se hallaba indexada. Ellos querían que nos hiciéramos cargo de la revista. Pero queríamos una revista en inglés. La solución era cambiarle el nombre. Entonces Michel dijo: "Les doy la revista para que ustedes hagan lo que quieran". El CNPq lo aprobó. Y eso fue lo que hicimos. Para hacerlo posible, creamos la Asociación Brasileña de Divulgación Científica, formada por las mismas sociedades que integrarían la Fesbe, creada cuatro o cinco años más tarde. Para hacer la revista fundamos una asociación que es dueña de la publicación y yo pasé a ser el presidente y editor de esa asociación, en compañía de Sérgio Henrique Ferreira. También formé parte del comité de revistas de la FAPESP. Trabajé con la bibliotecaria Rosali Duarte, que provenía de la *Revista de Genética*, y notamos que recibíamos pedidos de las revistas y no sabíamos lo que eso significaba. Entonces realizamos el primer trabajo brasileño publicado sobre la calificación de las revistas. Hay un trabajo que publicamos nosotros que constituye la primera clasificación de las revistas. Necesitábamos eso para decidir qué hacer.

El InCor nació con la idea de que el conocimiento debe pasar del laboratorio al lecho del paciente

Entre todo lo que usted hizo en cuanto a la política científica, ¿qué es lo que valora más?

Lo que tuvo mayor repercusión fue mi actuación como presidente de la ABC, porque logramos proyectar a la ciencia brasileña en el ámbito nacional e internacional. Y tener el reconocimiento de la academia como un organismo de asesoría para el gobierno. Todavía me desempeño como miembro del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, subordinado a la presidenta, y vivo pensando que eso debe funcionar mejor. La fundación de la FESBE también fue importante, así como la creación de la Sociedad Brasileña de Hipertensión. Siempre formé parte de esas asociaciones, porque yo trabajaba y seguí trabajando en el laboratorio. Soy profesor y científico, y también activista. Cuando nosotros fundamos el IAP, Bruce Alberts, que fue presidente de la Academia Americana durante 12 años, escribió un artículo que me agradó mucho. Sostiene que los científicos tienen la obligación social de trabajar para lograr que la ciencia redunde en beneficios para la sociedad. El esfuerzo que hoy en día llevo adelante consiste en entender a la medicina enfocada en la prevención. Y la prevención es educación.

¿Su relación con la medicina traslacional revela esa preocupación?

Ése es el enfoque. Estamos programando en la facultad una conferencia internacional sobre educación médica. No podemos formar médicos que conozcan todas las especialidades y sin noción de lo que harán en la atención primaria. Se necesita, simultáneamente, enseñar a curar al paciente y prevenir la enfermedad. No contamos con recursos económicos como para proveer el tratamiento a todos con la sofisticación tecnológica actual. Debemos poner sobre el tapete la prevención de la enfermedad, eso es mucho más barato y tiene mayor repercusión. De ese modo, la gente pasará más tiempo gozando de buena salud. ■

Abrir la Tierra

Físicos describen detalladamente las estructuras y las transformaciones minerales que se producen en regiones profundas del interior del planeta

Carlos Fioravanti

PUBLICADO EN AGOSTO DE 2012

ILUSTRACIONES DINUM

Puede parecer más sencillo llegar a la Luna –situada a casi 400 mil kilómetros de distancia– o enviar sondas para conocer otros planetas que conocer la composición y el funcionamiento del interior de la Tierra, una esfera casi perfecta de 12 mil kilómetros (km) de diámetro. Las perforaciones de sondeo han alcanzado una profundidad de tan sólo 12 km, apenas atravesando la corteza, la capa más superficial. Y como no pueden examinar directamente el interior del planeta, los científicos se valen de simulaciones computadas para comprender cómo se forma y se transforma la masa sólida de minerales de las capas más profundas del interior del planeta cuando es sometida a presiones y temperaturas centenares de veces más altas que las de la superficie. Como resultado de ello, se están detectando minerales que se forman a miles de kilómetros de la superficie, y se admite ya que es posible que exista un volumen de agua mayor que un océano disperso entre la densa masa rocosa ubicada bajo nuestros pies.

La física brasileña Renata Wentzcovitch, investigadora de la Universidad de Minnesota, Estados Unidos, es la artífice de descubrimientos fundamentales sobre el interior del planeta empleando precisamente técnicas matemáticas y computacionales que desarrolla desde 1990. En 1993, Wentzcovitch dilucidó la estructura atómica de la perovskita a altas presiones. La perovskita es el mineral más abundante en el manto inferior, la capa más extensa del interior del planeta, con un espesor de 2.200 km, bastante menos conocida que las capas más externas (*obsérvese la infografía a continuación, referente a las capas del interior de la Tierra*).

En 2004, ella y su equipo identificaron la posperovskita, un mineral resultante de la transformación de la perovskita sometida a presiones y temperaturas centenares de veces más altas que las de la superficie, tal como ocurre en las regiones más profundas del manto. Estos resultados ayudaron a suministrar una explicación sobre las velocidades de las ondas sísmicas generadas por los terremotos, que varían de acuerdo con las propiedades de los materiales que atraviesan y representan uno de los medios más utilizados para comprender la composición del interior de la Tierra. En los últimos tiempos, nuevos estudios de Wentzcovitch señalaron que la posperovskita tiende a disociarse en óxidos elementales, tales como el de magnesio y el de silicio, a medida que la presión y la temperatura aumentan todavía más, tal como sucede en el interior de los planetas gigantes: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

"Poseemos los medios para descubrir la constitución y las diferencias de composición del interior de los planetas", dice. Según ella, las técnicas que ha desarrollado pueden prever el comportamiento de estructuras cristalinas complejas, conformadas por más de 150 átomos. "A lo largo del manto terrestre, las estructuras cristalinas de los minerales son diferentes, pero la composición química de las capas del interior de la Tierra parece ser uniforme".

Mediante trabajos como el efectuado por su grupo, ahora comienza a notarse mejor de qué modo los minerales del interior de la Tierra tienden a perder elasticidad y hacerse más densos cuando son sometidos a alta presión y temperatura, las cuales aumentan con la profundidad. En función del aumento de la presión, se cree que la densidad en el centro de la Tierra –formado por una masa sólida de hierro a una temperatura cercana a los 6.000 grados Celsius (°C)– sería de unos 13 gramos por centímetro cúbico, cuatro veces mayor que la de la superficie, lo cual indica que en un mismo volumen caben cuatro veces más átomos.

Sin espacio para la ficción y apegados a rigurosos métodos, como lo son el análisis de los resultados obtenidos en cálculos teóricos, de experimentos en laboratorio, de estudios geológicos y de la velocidad de las ondas sísmicas, físicos, geofísicos, geólogos y geoquímicos están "abriendo" el planeta y ampliando el conocimiento sobre las regiones de masa rocosa compacta ubicadas debajo del límite de los 600 km, que marca el comienzo de una región más densa del manto, la denominada zona de transición, a partir de la cual el conocimiento era escaso. Los expertos consideran que podrán comprender mejor –y tal vez algún día prever– los terremotos y los tsunamis, además de detectar yacimientos minerales más fácilmente que ahora, si logran determinar la composición y los fenómenos ocurrentes en las regiones inaccesibles del interior del planeta.

OCÉANOS SUMERGIDOS

Incluso de las capas más externas están surgiendo novedades, que deshacen la antigua imagen del interior del planeta como una secuencia de capas regulares semejantes a las de una cebolla. En 2003, mediante detallados estudios mundiales, investigadores de Estados Unidos comenzaron a descubrir irregularidades en la corteza, cuyo espesor varía entre 20 y 68 km, lo que hace que las regiones más delgadas se encuentren sujetas a terremotos y las más espesas, a colapsos.

"Ahora vemos la interacción entre la corteza y la zona más superficial del manto", comentó el geofísico Walter Mooney, del Servicio Geológico de Estados Unidos, en el *Frontiers in Earth* Science, un encuentro que tuvo lugar a comienzos de julio en la Universidad de São Paulo (USP). Los geofísicos de Estados Unidos están revaluando las posibles consecuencias de dos fenómenos que ocurren con la corteza. El primero es la subducción de las placas tectónicas –porciones móviles y rígidas de la litósfera, la capa superficial que incluye a la región más externa del manto– en regiones más profundas del manto, amplificando el riesgo de temblores terrestres en las regiones en que ello ocurre. Los datos repiten las conclusiones de un estudio reciente coordinado por Marcelo Assumpção, profesor del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas (IAG) de la USP. Graduado en física, Assumpção, asociado con investigadores de la Universidad de Brasilia,

verificó que los temblores de tierra en Brasil ocurren con mayor frecuencia en regiones donde la corteza y la litósfera son más delgadas y, por ende, más frágiles.

Otro fenómeno visualizado ahora es la entrada de agua en la litósfera, debajo de la corteza. Lo desconcertante es que el agua no podría almacenarse en la corteza inferior debido a la presión ejercida por las capas rocosas y por la temperatura de alrededor de 205 ºC; por lo tanto, se evaporaría rápidamente. En realidad, lo que existe en el interior de la Tierra no es exactamente agua, sino los componentes de la molécula de agua, hidrógeno y oxígeno, ligados a la estructura cristalina de los minerales en forma de H_2O (agua) u OH (oxhidrilo).

Mooney y su equipo detectaron una intensa intromisión acuática en regiones de los Andes donde la corteza alcanza 65 km de espesor, pero no supieron explicar la razón de ese fenómeno. "¿Dónde se almacena ese agua? ¿Cuál es su volumen?", se preguntó frente a colegas de varios países que asistieron a la reunión científica en la USP. Quizá, comentó, el agua provenga de las placas tectónicas que se hunden o se separan. Los expertos observaron que la litósfera sin agua es geológicamente más antigua, mientras que la hidratada es más reciente, lo que indica que la hidratación podría contribuir a la formación o transformación de las capas más externas o incluso del manto más profundo, cercano al núcleo.

Las moléculas de agua son importantes pues, "incluso en proporciones ínfimas, del orden del 0,1%, pueden modificar la viscosidad de los materiales, y por lo tanto la visión sobre la circulación de materia y energía en el interior de la Tierra", comenta el físico João Francisco Justo Filho, docente de la Escuela Politécnica de la USP que trabaja junto a Renata Wentzcovitch desde 2007. "Una gran cantidad de agua puede hallarse escondida en el manto inferior, en los minerales", afirma el geoquímico Francis Albarède, de la Escuela Normal Superior de Lyon, en Francia. "Quizá el equivalente a un océano entero". O incluso más, "acaso varios océanos", medita Wentzcovitch. Mediante cálculos informáticos, ella comenzó a estudiar las posibilidades de que dos átomos de hidrógeno sustituyan al magnesio unido con el oxígeno y formen unidades de H_2O. "Cuanto más investigamos, hallamos mayor cantidad de defectos en las estructuras cristalinas, donde podría combinarse el hidrógeno", añade. El problema reside en que no se sabe cuánto hidrógeno puede hallarse almacenado en el manto.

El interior de la Tierra puede albergar un volumen de agua equivalente a varios océanos, bajo la forma de moléculas de H_2O y OH dispersas entre la masa rocosa

Más abajo, la incertidumbre aumenta, frente a la imposibilidad de medir con precisión lo que sucede a 6.000 km de profundidad. Todavía se conoce poco sobre la composición del núcleo terrestre, tan denso que concentra el 30% de la masa del planeta en dos regiones, una externa, líquida, y otra interna, sólida, donde la temperatura puede sobrepasar los 6.000 ºC. Un equipo de la University College London utilizó el mismo abordaje conceptual que el grupo de Minnesota, la teoría funcional de densidad, para estimar la intensidad del flujo calórico proveniente de la región limítrofe entre el núcleo y el manto, a partir de la cantidad de hierro, oxígeno, azufre y silicio sugerida por las velocidades de las ondas sísmicas que atraviesan el núcleo y por el flujo de calor del manto inferior. Los resultados, que se publicaron en mayo en la revista *Nature*, indicaron que el flujo calórico que emana del núcleo sería entre dos y tres veces mayor que el estimado previamente. Hacia dónde fue o va esa energía, nadie lo sabe.

MINERALES EN DESCOMPOSICIÓN

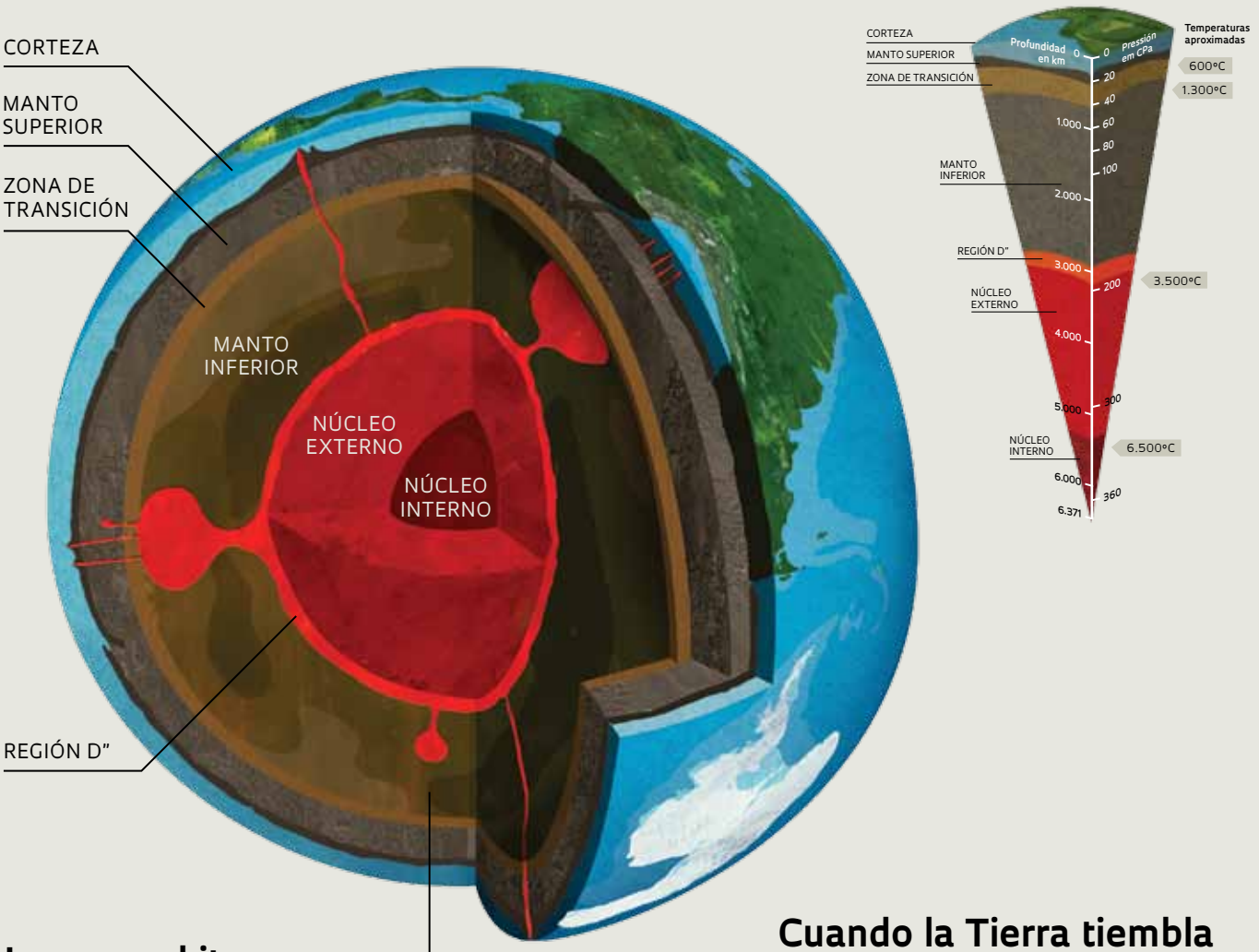
Diversos estudios en curso se enfocan en el manto, una densa capa sólida, levemente flexible, que se deforma muy lentamente, tal como ocurre con el alquitrán. A no ser en las raras ocasiones en que el magma emerge a través de los volcanes, trayendo material del manto, los estudios se realizan en forma indirecta, mediante el monitoreo de la velocidad de las ondas sísmicas, y resulta difícil saber directamente lo que sucede en el manto. Los japoneses planean ir más allá del record de los 12 km perforados y alcanzar el manto utilizando un navío con una sonda similar a la de un petrolero. La misión, anunciada en el mes de julio en la revista *New Scientist*, no será sencilla: los materiales de los taladros que se utilizarán para perforar la corteza y llegar al manto deben resistir presiones 2 mil veces mayores que las de la superficie y temperaturas cercanas a 900 ºC, una tarea similar al plan de extracción de petróleo de la capa de presal del litoral paulista.

"Yo cocino rocas, para entender cómo se formaron", dice el geólogo Guilherme Mallmann, investigador del Instituto de Geociencias de la USP, quien adoptó otro método para conocer mejor el interior del planeta. En el laboratorio, somete los componentes químicos que constituyen los minerales a altas presiones y temperaturas. No obstante, los hornos y prensas como los que él usa, sólo permiten reproducir los fenómenos que ocurren hasta los 150 km de profundidad, la región del manto superior en la que se forma el magma, que a veces emerge a través de los volcanes. Las condiciones de presión más profundas del interior de la Tierra también pueden alcanzarse experimentalmente, según él, pero eso resulta mucho más complicado. Como la presión es el resultado de la fuerza sobre una determinada área, el volumen del material analizado tendría que ser muy reducido para alcanzar esas presiones altísimas. "Construir prensas mayores es generalmente inviable".

La perovskita, denominada así en homenaje al mineralogista ruso Lev Perovski, se forma en ambientes sometidos a presiones y temperaturas elevadas que, en el manto inferior, pueden variar de 23 a 135 gigapascales (1 gigapascal es unas 10 mil veces mayor que la presión en la superficie terrestre) y entre 2.000 ºC y 4.000 ºC. Wentzcovitch exhibió la estructura cristalina de ese mineral –un silicato de magnesio y hierro– en 1993, en la revista *Physical Review Letters*, mediante rombos verdes y amarillos, en alusión a la bandera

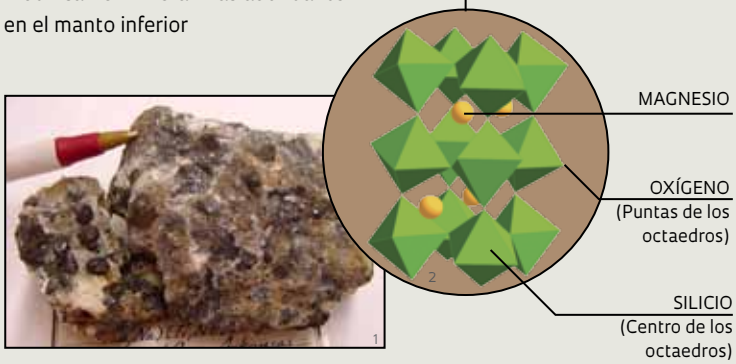
Una prensa bajo nuestros pies

Los minerales del interior del planeta pierden elasticidad y se tornan más densos a medida que aumentan la presión y la temperatura



La perovskita en transformación

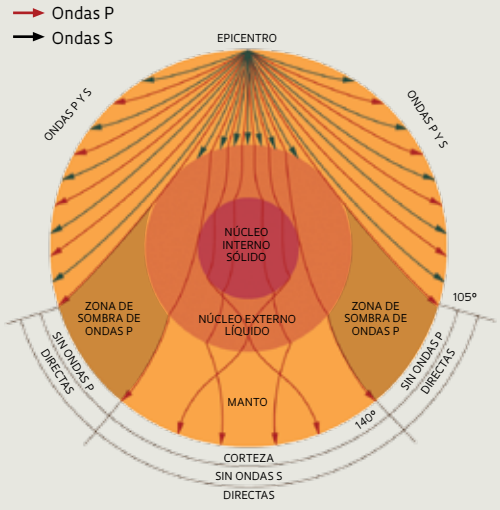
Elevadas presiones y temperaturas modifican el mineral más abundante en el manto inferior



La perovskita se transforma en posperovskita en el interior terrestre y eventualmente se descompone en óxidos simples en las regiones cercanas al núcleo en los planetas gigantes del sistema solar

Cuando la Tierra tiembla

Los terremotos generan dos tipos de ondas: las P y las S. Las ondas P atraviesan la Tierra, en tanto que las S mueren al encontrarse con el núcleo externo.
La trayectoria de las ondas depende de las propiedades de los materiales que atraviesan



INFOGRAFÍA DRUM **IMÁGENES 1** ANDREW SILVER/ USGS **2** RENATA WENTZCOVITCH **FUENTE** UNIVERSIDAD DE YORK

brasileña. La razón era simple: "Nostalgia", dice la investigadora, quien reside en las ciudades gemelas Mineápolis-Saint Paul, con 2,5 millones de habitantes, cerca de la frontera con Canadá, donde la temperatura durante el invierno puede mantenerse en -20 ºC durante semanas.

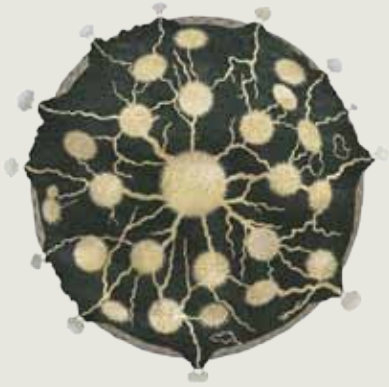
En colaboración con físicos de Italia y Brasil, ella verificó que los átomos de hierro de un mineral denominado ferropericlasa, el segundo más abundante en el manto inferior, pierden una de sus propiedades más distintivas, el magnetismo, explicando así un fenómeno que ya se observara en laboratorio. En 2007, Justo Filho trabajó en Minnesota con Wentzcovitch y juntos desarrollaron una serie de ecuaciones que establecen el cambio de las propiedades elásticas y las velocidades sísmicas durante la sorprendente pérdida de magnetismo del hierro como resultado del aumento de la presión en el mineral ferropericlasa.

"El tamaño del átomo de hierro disminuye cuando pierde el momento magnético y así se convierte en el más denso, ferropericlasa. Además, los minerales con hierro se ablandan durante el lento proceso de densificación, tal como ya se había observado en el laboratorio, aunque aún no se lo había explicado", dice Justo Filho. Se trata de un fenómeno sorprendente porque lo normal es que el material se endurezca cuando se torna más denso.

Los resultados a los que arribaron ambos científicos fueron publicados en 2009 en la revista *PNAS* y explicaron la pérdida de magnetismo bajo presión y temperatura equivalentes a las del manto inferior, que James Bedro, de las Universidades de París 6 y 7, había detectado en laboratorio e informado en la revista *Science* en 2003 y 2004. La verificación experimental de ese fenómeno, uno de los grandes descubrimientos de la geofísica en los últimos años, indicó que la proporción de hierro no magnético puede aumentar con la profundidad y, asimismo, que las capas más profundas del manto inferior pueden incluso ser más densas que las menos profundas.

Visiones de la Tierra

ATHANASIUS KIRCHER
1665



HANS KRAMER
1902

Bajo presiones altísimas, los átomos de hierro pierden una de sus características distintivas, el magnetismo, y se vuelven más compactos

LA TRAYECTORIA

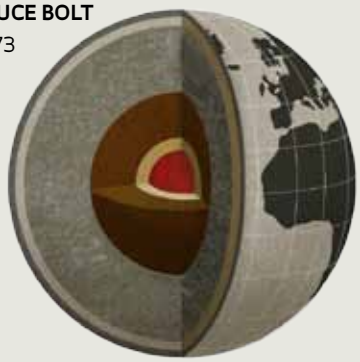
Cuando era una preadolescente, a Wentzcovitch le agradaba hacer las pruebas de matemática que su abuelo Adolfo Foffano le hacía hacer todos los días que pasaban juntos, durante las vacaciones de fin de año en Sumaré, en el interior paulista. Ella estudió física en la Universidad de São Paulo y llegó a Berkeley, Estados Unidos, en 1983, por recomendación de José Roberto Leite y Cylon Gonçalves da Silva.

La trayectoria de Wentzcovitch incluyó una temporada en Cambridge y en Londres, entre 1990 y 1992, luego de haber ampliado las posibilidades de utilización de sus técnicas de simulaciones de materiales. Sus nuevas técnicas eran tan vastas que servían para estudiar el movimiento atómico y las transformaciones de estructuras cristalinas en altas presiones y temperaturas. Para ello, utilizó el denominado cálculo de primeros principios, que se basa en la teoría funcional de la densidad, cuya esencia es sencilla: la energía total de un conjunto de electrones en estado de equilibrio depende de la densidad total de electrones.

Al cabo de mucho trabajo, lo había logrado. "En menos de un mes, con mis técnicas, resolví la estructura del silicato de magnesio a alta presión, en la que los investigadores de Cambridge trabajaban desde hacía dos años", comenta. Resolver una estructura, explica, "significa detectar la posición de equilibrio y los grados de libertad de una estructura cristalina con cierta simetría que minimizan la energía interna". Hasta entonces, tan sólo se podían determinar con facilidad estructuras tales como la del diamante, formada por dos átomos en su base y un grado de libertad que se refleja en la distancia existente entre los átomos de carbono. La estructura de la perovskita posee 20 átomos de silicio, magnesio y oxígeno, y 10 grados de libertad, "siendo mucho más compleja que la estructura de los semiconductores y, por ello, su comportamiento en altas presiones hasta ese entonces era desconocido", agrega.

Al principio, uno de sus problemas consistía en que no podía verificar experimentalmente sus previsiones teóricas. Empero, en 2003, trabajando con investigadores del Instituto de Tecnología de Tokio, Renata y su equipo de Minnesota analizaron el espectro de rayos X que difería bastante de lo esperado en presiones tan altas. Y arribaron a la conclusión de

BRUCE BOLT
1973



ADAM DZIEWONSKI
1990

que había ocurrido una transformación de fase –o modificación de la estructura cristalina– en una estructura desconocida. "Al principio no podía creerlo", dice, "¡es que la perovskita parecía ser tan estable!". Al año siguiente, un artículo en la revista *Science* daba cuenta de la nueva estructura cristalina: la posperovskita, actualmente considerada el material más abundante en la región del manto conocida como D", en contacto con la capa externa del núcleo de la Tierra. "La posperovskita explica muchas características geofísicas de esa región de la Tierra", observó Mallmann, de la USP.

La posperovskita presenta una estructura en capas, a través de las cuales viajan las ondas sísmicas, a velocidades que dependen de la dirección inicial. Este trabajo reforzó la conclusión de otros estudios que señalaban que ese mineral podría formarse a diferentes profundidades del manto inferior.

En el informe publicado en la revista *Science*, en su edición del 24 de marzo de 2004, el físico Surendra Saxena, de la Universidad Internacional de Florida, en Estados Unidos, cuestionó las conclusiones, alegando que todavía creía que la perovskita solamente se descompone en las regiones del manto más cercanas al núcleo; y recordó que la teoría aún no era perfecta, aunque estudios posteriores sobre la propagación de las ondas sísmicas parecen confirmar la presencia de posperovskita en la región D".

"Tuvimos mucha suerte", comentó Wentzcovitch. "Los resultados de los cálculos computacionales de velocidades en la posperovskita son sorprendentes, ya que reproducen muchas observaciones sismológicas de la región D", hasta entonces inexplicables. No se trata de una mera coincidencia".

También en 2004, cuando ese trabajo comenzó a circular, Wentzcovitch recibió una financiación por valor de 3 millones de dólares de la National Science Foundation, de Estados Unidos, para montar el Laboratorio Virtual de Materiales Planetarios y Terrestres (VLab) en el Instituto de Supercomputación de la Universidad de Minnesota. El VLab agrupó a químicos, físicos, científicos computacionales, geofísicos y matemáticos, quienes, motivados por la posible existencia de posperovskita en otros planetas, comenzaron a percibir las probables transformaciones que los minerales podrían sufrir en el interior de los planetas gigantes del sistema solar –Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno–, con masas al menos 10 veces superiores a la de la Tierra, bajo presiones y temperaturas todavía mayores.

Los resultados obtenidos por el grupo, del mismo modo que los detallados en la revista *Science* en 2006, presentando las probables transformaciones del silicato de magnesio en los planetas gigantes más cercanos a la Tierra, indicaron que estas técnicas de cálculo pueden resultar útiles para estudiar la evolución de los planetas. "Los patrones de comportamiento de los minerales en planetas diversos no pueden constituir una mera coincidencia", sostuvo, frente a la audiencia que la escuchaba atentamente durante el seminario realizado en la USP.

Las simulaciones del comportamiento de materiales en grandes profundidades y los estudios experimentales, sobre todo cuando coinciden, ayudan a definir los fenómenos que ocurren en el interior de la Tierra. En el mes de julio, investigadores franceses anunciaron que lograron reproducir en laboratorio las condiciones ambientales atribuidas al límite entre el núcleo externo y el manto inferior. Demostraron, por medio de análisis de rayos X, que las rocas parcialmente derretidas cuando se las somete a altas temperaturas y presión, pueden desplazarse en dirección a la superficie terrestre, originando islas volcánicas, tal como es el caso de las que conforman el archipiélago de Hawai.

UNA TIERRA MÁS REAL

Los nuevos informes sobre el interior del planeta promueven el trabajo de grupos brasileños de investigación en geofísica básica, enfocados en el examen de la Tierra a gran escala, en São Paulo, Río de Janeiro, Rio Grande do Norte, el Distrito Federal y Rio Grande do Sul.

Vistos en conjunto, los resultados ayudan a construir una imagen más sólida de la Tierra, que ha sido representada en forma variada durante los últimos siglos. El conocimiento al respecto de la estructura de la Tierra ha avanzado bastante desde 1912, cuando el geofísico alemán Alfred Wegener concluyó que la Tierra estaría formada por placas rígidas que se desplazan, y se aleja cada vez más de las imágenes poéticas de *Viaje al centro de la Tierra*, la magnífica obra del escritor francés Julio Verne, publicada en 1864. "Ahora sabemos que el interior de la Tierra, a diferencia de lo que escribiera Julio Verne", asegura Justo Filho, "es absolutamente misterioso y ciertamente inhabitable". No por ello, añade Assumpção, nuestro planeta deja de ser fascinante. ■

El proyecto

Simulación y modelado de minerales a altas presiones nº 09/14082-3 **Modalidad** Proyecto Temático **Coordinador** João Francisco Justo Filho – USP **Inversión** R$ 184.378,73

Artículos científicos

Wentzcovitch, R.M. *et al*. Ab initio molecular dynamics with variable cell shape: Application to $MgSiO_3$. **Physical Review Letters.** v. 70, p. 3.947-50. 1993.

Tsuchiya, T. *et al*. Phase transition in $MgSiO_3$ perovskite in the earth's lower mantle. **Earth and Planetary Science Letters.** v. 224, n. 3-4, p. 241. 2004.

Wentzcovitch, R.M. *et al.* Anomalous compressibility of ferropericlase throughout the iron spin crossover. **PNAS.** v. 106, p. 8.447-52. 2009.

Un equilibrio delicado

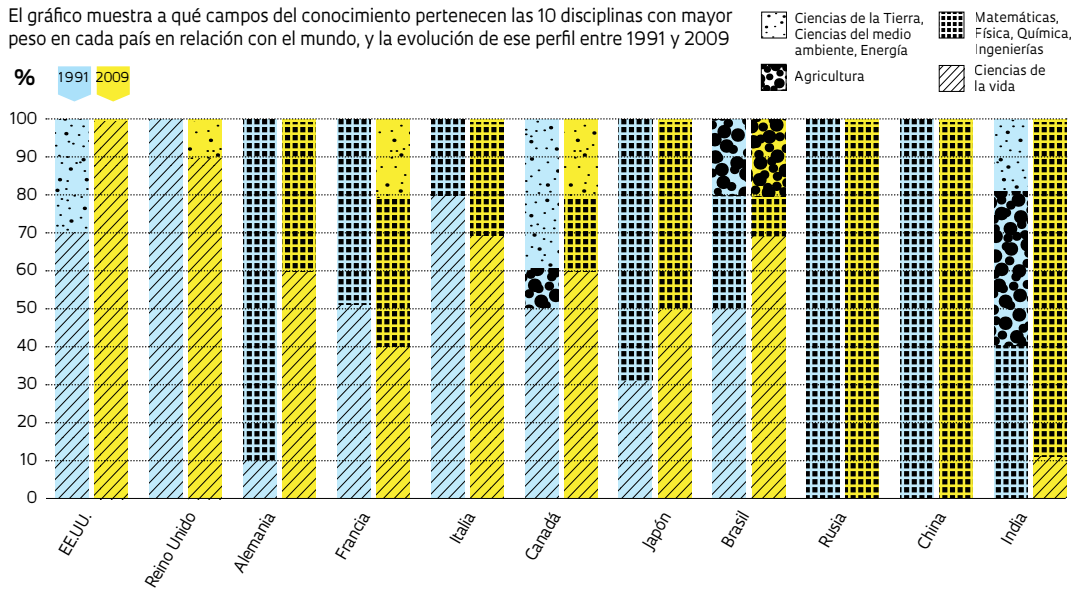
Estudios revelan que la estructura de la comunidad científica de los Bric es cada vez más parecida a la de los países desarrollados

Fabrício Marques

PUBLICADO EN AGOSTO DE 2012

LA EVOLUCIÓN DEL PERFIL DE LAS ÁREAS EN ALGUNOS PAÍSES

El gráfico muestra a qué campos del conocimiento pertenecen las 10 disciplinas con mayor peso en cada país en relación con el mundo, y la evolución de ese perfil entre 1991 y 2009



FUENTE A COMPARISON OF DISCIPLINARY STRUCTURE IN SCIENCE BETWEEN THE G7 AND THE BRIC COUNTRIES, 2012

¿De qué manera pueden compararse los sistemas de ciencia y tecnología de naciones emergentes, tales como Brasil, Rusia, la India y China, con los de países desarrollados, que cuentan con una comunidad científica más consolidada? Un estudio realizado por un grupo de investigadores de China, que fue publicado en el sitio web de la revista *Scientometrics*, reveló que, pese a las notables diferencias entre las estructuras científicas de los denominados Bric y las del grupo de los países más ricos del mundo, el G7, la brecha que separa a ambos bloques está disminuyendo. El trabajo, cuyo autor principal es Li Ying Yang, de la Biblioteca Nacional de la Academia China de Ciencias, analizó de qué modo las comunidades científicas de esos países se dividen por disciplinas y grandes campos del conocimiento, adoptando como parámetros, los artículos científicos publicados. Mientras la producción científica de los países ricos exhibe una cierta homogeneidad y un equilibrio entre las distintas áreas del conocimiento, con las ciencias de la vida como líderes, los Bric muestran una estructura más heterogénea, sin una identidad común, con un predominio de disciplinas tales como la física, la química, la matemática e las ingenierías, con la excepción de Brasil, que ostenta un perfil más parecido al de los países industrializados. Pero esa concentración ha ido decreciendo en el transcurso de los últimos 20 años, ya que los Bric se están volviendo cada vez más equilibrados.

Según Yang, la decisión de buscar un equilibrio entre las disciplinas o invertir fuertemente en áreas estratégicas siempre es algo complejo y responde a las necesidades particulares de cada nación. "Las estructuras por disciplinas de cada país son afectadas por factores culturales, por la historia política y la geografía, aparte de los efectos provocados por el desarrollo científico y tecnológico", sostuvo el investigador. "Sin embargo, la experiencia demuestra que una estructura asimétrica puede ir en desmedro de un desarrollo basado en la ciencia y la tecnología", afirmó Yang, refiriéndose a la importancia de mantener una comunidad científica interesada en todos los campos del conocimiento y preparada para afrontar futuros desafíos científicos y tecnológicos donde sea que ellos surjan.

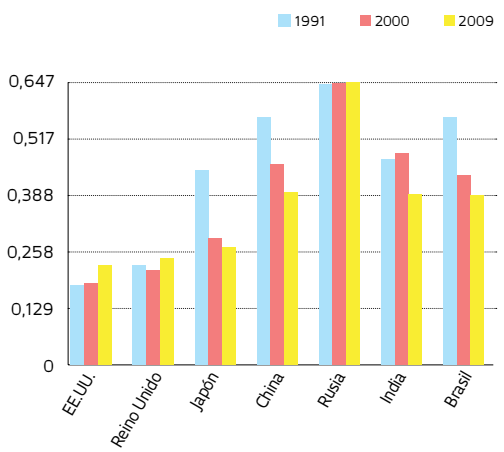
El grupo chino desarrolló una metodología para comparar la estructura de las disciplinas científicas entre el bloque de los Bric y en el G7. Los artículos publicados en la base Web of Science, perteneciente a la empresa Thomson Reuters, en los años 1991, 2000 y 2009, constituyen la materia prima para el análisis. Esos artículos fueron clasificados según la lista de más de 170 disciplinas del *Journal Citation Reports*, que se utiliza en la evaluación de las revistas científicas. Conviene aclarar que la metodología solamente utiliza el número de artículos, y no el de citas y/o factores de impacto. Se trata, por lo tanto, de volumen, y no de calidad. De la misma manera, ignora la incidencia de las cooperaciones internacionales. Cada artículo se acredita tan sólo a un país, aquél al que pertenece el autor correspondiente, responsable del envío del trabajo para su publicación.

Se calcularon parámetros tales como el porcentaje del número de artículos de un país en cada disciplina, en relación con el número total de artículos de dicho país, así como el porcentaje de los artículos de cada área en el mundo, en relación con el total de artículos publicados mundialmente. La relación entre esos dos parámetros originó un índice normalizado, el Índice de Actividad (AI), que midió el peso de cada disciplina en el país con relación al mundo y ayudó a los investigadores a comparar las estructuras de las áreas en cada nación.

El artículo presenta gráficos demostrativos, tales como los detallados al comienzo de este reportaje.

EL ÍNDICE DE LA DESIGUALDAD

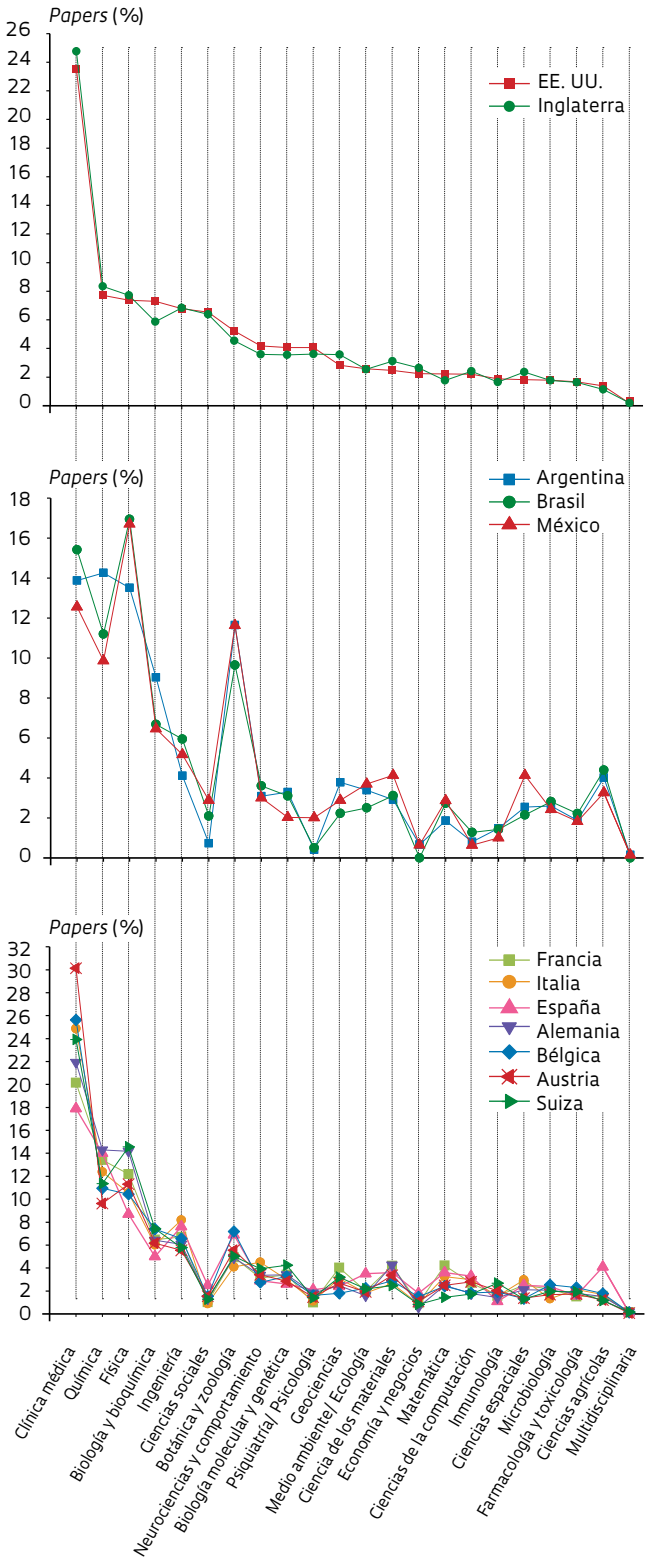
El coeficiente de Gini analiza las diferencias de desempeño entre las áreas en cada país. Cuanto más bajo, mayor es el equilibrio entre ellas. Cuanto más alto, mayor es la polarización



FUENTE A COMPARISON OF DISCIPLINARY STRUCTURE IN SCIENCE BETWEEN THE G7 AND THE BRIC COUNTRIES, 2012

Perfiles disciplinarios distintos

En cuanto a la distribución de artículos científicos por área, Estados Unidos e Inglaterra presentan perfiles similares, que se distinguen, incluso, de los del resto de los países europeos o del bloque formado por Argentina, México y Brasil



FUENTE PERFIL NORMALIZADO DE PAÍSES (CPI) – REVISITING COUNTRY RESEARCH PROFILES: LEARNING ABOUT THE SCIENTIFIC CULTURES – 2012

En uno de ellos, se reagruparon las especialidades en cuatro grandes áreas del conocimiento: ciencias de la vida; ciencias agrarias; ciencias de la Tierra, del medio ambiente y energía; y matemática, física, química e ingenierías. Se evaluaron las 10 disciplinas con mayor preeminencia en cada país, aquéllas que presentan un Índice de Actividad más elevado. Aunque ostenta una estructura que se considera balanceada, Estados Unidos presenta un gráfico con tan sólo un color, donde las 10 áreas con mayor peso pertenecen al campo de las ciencias de la vida, tales como medicina y biología. En tanto, en los casos de China y la India, esas 10 pertenecen al campo de las ciencias exactas: matemática, física, química e ingenierías. Brasil contabilizó siete disciplinas en ciencias de la vida, una en ciencias exactas y dos en ciencias agrarias.

Finalmente, se calculó para cada país, el coeficiente de Gini en la distribución de la incidencia de las disciplinas, que se mide por medio del AI. El coeficiente de Gini se utiliza para medir las desigualdades. Cuando resulta inferior a 0,3, los autores consideran que la estructura disciplinaria está balanceada. Cuando excede 0,4, se considera que la estructura es asimétrica y polarizada. La evolución del coeficiente de Gini entre 1991 y 2009 fue capaz de revelar con agudeza cómo va cambiando cada país. Los Bric se encuentran en un franco proceso de disminución de la concentración y de búsqueda de equilibrio. Brasil, por ejemplo, poseía un coeficiente de 0,568 en 1991, que se consideraba polarizado, pero el mismo descendió hasta 0,389 en 2009, en un rango de equilibrio. Lo propio sucedió con la India, donde descendió de 0,471 a 0,360; y con China, donde pasó de 0,568 a 0,395. El caso de Rusia constituyó una gran excepción. El coeficiente de Gini permanece estacionado en un valor de 0,64 desde 1991. La inversión en las áreas de matemática, física, química e ingenierías, que se remontan a los tiempos de la Guerra Fría, aún continúa prevaleciendo. Estados Unidos elevó ligeramente su coeficiente de Gini, de 0,182 en 1991, a 0,229 en 2009. En Francia, la desigualdad decreció, y su coeficiente pasó de 0,297 a 0,158. "El mundo desarrollado permanece estacionado, mientras que nosotros estamos cambiando", dice Hernan Chaimovich, vicepresidente de la Academia Brasileña de Ciencias, profesor jubilado del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo y asesor de la Dirección Científica de la FAPESP.

Así como la tendencia al equilibrio entre las áreas del conocimiento es una evidencia alentadora, los datos suscitan un debate sobre cuál sería la sintonía fina más deseable entre las distintas áreas, aunque un modelo exitoso para un país no necesariamente sea el adecuado para otra nación. "En Estados Unidos hay un enco-

nado debate sobre la relativa pérdida de espacio, durante los últimos años, de las disciplinas del campo de las ingenierías, incluso con un descenso de la cantidad de estudiantes de carreras de grado, pero no puede afirmarse que ese debate sirva para el resto de los países", afirma Rogério Meneghini, coordinador científico de la biblioteca electrónica SciELO. En el caso de Brasil, la escasez de ingenieros ya fue señalada como un obstáculo para un crecimiento económico sostenido. Según Meneghini, el país, al contrario de lo que ocurre con el resto de los Bric, posee una tradición en las áreas de las ciencias de la vida. "Eso se remonta al comienzo del siglo XX, con grandes científicos, tales como Carlos Chagas y Oswaldo Cruz, fuertemente influenciados por la investigación que se hacía en Europa. En tanto, China, la India y Rusia, no contaron con ese influjo", dice. Meneghini cita como ejemplo los estudios de genética en la extinta Unión Soviética, que permanecieron refrenados durante buena parte del siglo pasado a causa de la influencia en el país del biólogo ucraniano Trofim Lysenko (1898-1976), quien renegaba de la genética mendeliana.

En opinión de Hernan Chaimovich, el debate al respecto de esa sintonía fina en Brasil es relevante, aunque aún secundario. "La cantidad de científicos en el país todavía es pequeña si se la compara con el promedio en los países desarrollados. Necesitamos elevar el número de científicos en todas las áreas", afirma. El problema fundamental, según Chaimovich, es el hecho de que la calidad de la investigación brasileña no aumenta en la misma proporción que la producción científica. "Cantidad y calidad necesitan tener un crecimiento parejo. Debemos crear estrategias que así lo promuevan", dice el profesor, quien cita como ejemplo la estrategia de la FAPESP para fomentar la internacionalización de la ciencia brasileña, financiando proyectos de investigación en asociación con instituciones de otros países.

Aunque los países desarrollados exhiban una estructura más consolidada, imaginar esto monolíticamente constituye un engaño. Otro estudio publicado *online* en el mes de marzo, en la misma revista, *Scientometrics*, firmado por Peter Schulz y Edmilson Manganote, docentes del Instituto de Física Gleb Wataghin, de la Universidad Estadual de Campinas

La gran cuestión, según Hernan Chaimovich, es el hecho de que la calidad de la investigación brasileña no aumenta a la misma velocidad que la producción científica

(Unicamp), revela que el denominado "modelo occidental", en que existe un predominio de la investigación médica y biomédica, presenta, en realidad, una serie de matices. Estados Unidos y el Reino Unido, de hecho, siguen un patrón muy similar, con la medicina respondiendo por un cuarto de la producción científica, pero en los países de Europa continental la distribución es diferente, con una participación algo mayor de la física y la química, y la medicina variando entre un 18% (en España) y un 30% (en Austria). "El modelo occidental se encuentra claramente dividido en dos subgrupos", dice Peter Schulz.

Los investigadores de la Unicamp basaron su análisis en los perfiles de países divulgados por el Science Watch, de Thomson Reuters, que clasifica la producción científica de cada país (incluyendo citas) acumulada durante aproximadamente 10 años en los 22 principales campos del conocimiento. Basándose en esos datos, los brasileños propusieron un nuevo indicador, el índice de perfiles de países (CPI, según su sigla en inglés), también con el objetivo de comparar la estructura disciplinaria de las naciones. "El artículo de los chinos utiliza una metodología más sofisticada. En nuestro caso, inicialmente utilizamos datos abiertos, pensando en crear una herramienta de análisis destinada a un público menos especializado en cienciometría, aunque es parte relevante en la toma de decisiones en el terreno científico", explica Schulz. El CPI también revela la heterogeneidad en el perfil de los Bric y señala que el perfil de las publicaciones de Brasil se asemeja más al de Argentina y México, con un predominio de la medicina clínica, la química, la física, la botánica y la zoología; y las ciencias agrarias ocupando un espacio superior al del promedio mundial (un 4% del total de la producción brasileña). Corea del Sur, Taiwán y Japón, formarían otro bloque claramente definido, con un rol predominante de las ingenierías (*observe los gráficos*). "La estructura disciplinaria puede hallarse correlacionada con las estrategias de desarrollo económico de cada país, tal como apuntamos someramente para los casos de los "tigres" asiáticos y los países de los Bric", dice Schulz.

Tanto el estudio chino como el brasileño sugieren una transformación del perfil de disciplinario en Brasil, tornándolo cada vez más semejante al del modelo occidental. Manganote, de la Unicamp, alerta sobre un sesgo en esos datos, que fue la reciente inclusión de varias publicaciones científicas brasileñas en la base Web of Science. En 2006, solamente había 26 revistas brasileñas en esa base de datos. Actualmente son más de un centenar. "El espectro de las publicaciones brasileñas indexadas en la base de datos WoS ha expandido a partir de 2007. Pero este conjunto todavía no se corresponde efectivamente con la realidad brasileña. Probablemente, algunas áreas, tales como ciencias agrarias, negocios y economía, aún se hallen ocultas debido a lo fragmentario de la base utilizada", comenta, refiriéndose a la producción brasileña aún no indexada internacionalmente. Otro sesgo importante, según los investigadores de la Unicamp, está dado por la baja incidencia de las ciencias humanas y sociales en la estructura de especialización de varios países, incluso europeos, que sería el resultado de que la producción científica en esas áreas no se hallara representada en revistas indexadas en la Web of Science, sino en publicaciones regionales y libros. "En nuestro artículo debatimos el hecho de que la base de datos WoS no provee un retrato totalmente fiel de la estructura disciplinaria de un país", dice Peter Schulz. ■

Un país, dos modelos

Los gastos del estado de São Paulo en investigación y desarrollo revelan el abismo existente en relación con las restantes unidades de la federación

Fabrício Marques

PUBLICADO EN SEPTIEMBRE DE 2012

Las inversiones de los estados brasileños en investigación y desarrollo (I&D) han aumentado durante los últimos años, aunque subsiste un gran contraste entre la realidad de São Paulo, que ostenta un constante y significativo volumen de erogaciones en I&D para sus tres universidades estaduales, y los demás estados de la federación, con sistemas universitarios menos desarrollados y sostenidos por inversiones todavía modestas. Un estudio divulgado por los Indicadores Nacionales de Ciencia y Tecnología, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI), revela ese abismo. Ese compilado de datos comparó los gastos en I&D de las instituciones estaduales de enseñanza superior. De los 4.500 millones de reales invertidos por el conjunto de los estados brasileños en 2010, 3.900 millones de reales corresponden a São Paulo, un 86% del total. "São Paulo es un estado con una fuerte inversión en ciencia y tecnología comparado con el resto del país", señala Marco Antonio Zago, prorrector de Investigación de la Universidad de São Paulo (USP). "Esto es el resultado de una política de estado que comenzó hace mucho tiempo, y no de la estrategia de un gobernador", afirma. En segundo término en el estudio aparece Río de Janeiro, con aportes estaduales en I&D para las instituciones de enseñanza superior del orden de los 208 millones de reales en 2010, seguido por Paraná (183 millones de reales), Bahía (68 millones de reales) y Santa Catarina (46,9 millones de reales).

Un total del 9,57% de lo recaudado en São Paulo mediante el Impuesto sobre Circulación de Mercaderías y Servicios (ICMS) se destina a la manutención de las tres universidades estaduales y se distribuye según el tamaño de cada una de las instituciones, siendo un 2,344% para la Universidad Estadual Paulista (Unesp), un 2,195% para la Universidad Estadual de Campinas (Unicamp) y un 5,029% para la Universidad de São Paulo (USP). "Estos recursos, administrados de manera autónoma, garantizaron una base muy fuerte a las universidades estaduales para contar con laboratorios de calidad, docentes en régimen de dedicación exclusiva y técnicos de investigación", afirma Zago, quien a su vez hace una salvedad: "Aunque esa distribución se realice según el tamaño de la institución y no en forma competitiva, los recursos que aporta la FAPESP, que se invierten en becas y proyectos de investigación, cumplen esa función. Los investigadores deben remitir sus proyectos y se los evalúa. Se contemplan los proyectos de calidad", afirma el prorrector. En 2010, el desembolso de la FAPESP en becas y apoyo a la investigación fue de 780 millones de reales, algo más de 100 millones de reales más que lo asignado en 2009.

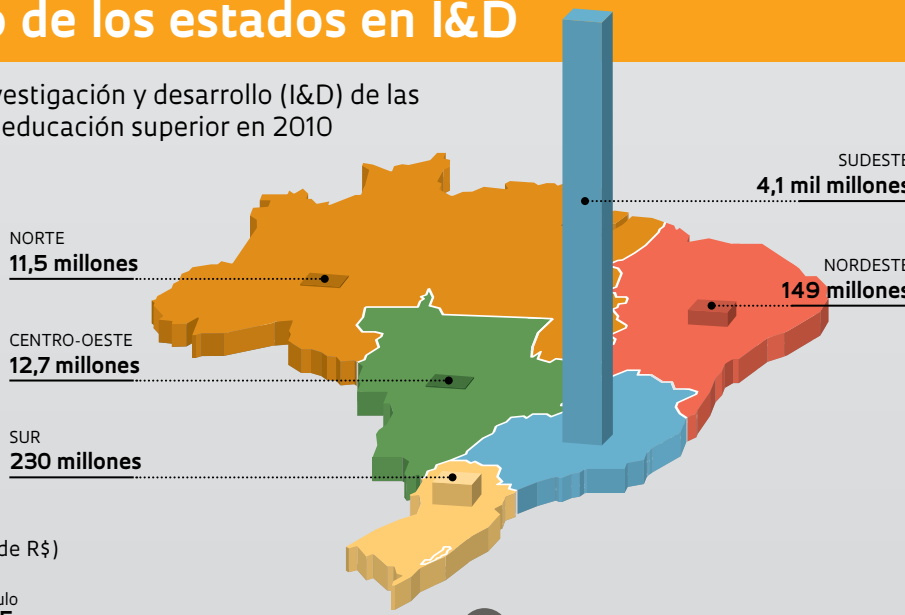
La USP, que es la universidad latinoamericana mejor ubicada en los *ranking* internacionales, responde por sí sola por casi la mitad del total de recursos invertidos en I&D en los sistemas universitarios estaduales, según los Indicadores del MCTI. En 2010 fueron 2.200 millones de reales. En tanto, la Unicamp, alcanzó los 1.000 millones de reales, mientras que la Unesp recibió 655 millones de reales. La Facultad de Medicina de São José de Rio Preto aparece en la clasificación del MCTI con 7,7 millones de reales asignados en 2010. La metodología que adoptó el MCTI engloba los gastos en los posgrados, la actividad de las universidades identificada con la investigación.

ILUSTRACIONES PEDRO HAMDAN **INFOGRAFÍA** ANA PAULA CAMPOS

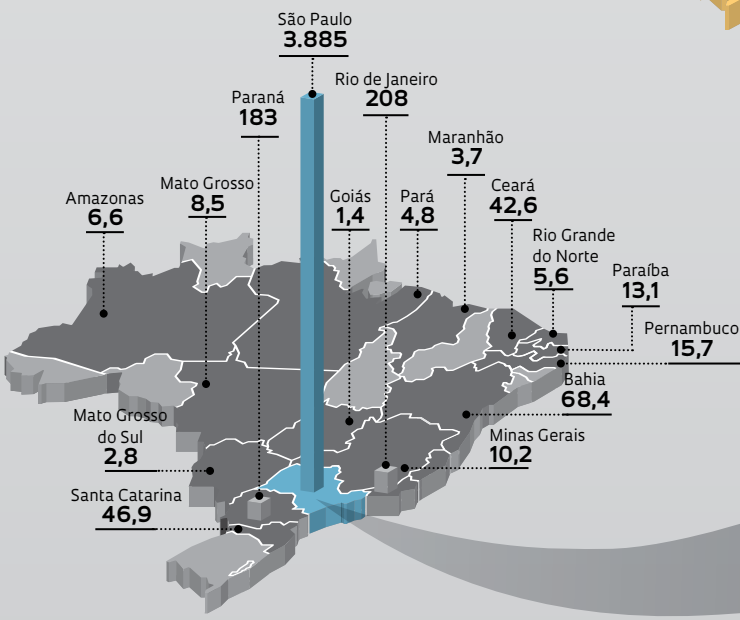
El compromiso de los estados en I&D

Estimación de gastos en investigación y desarrollo (I&D) de las instituciones estaduales de educación superior en 2010

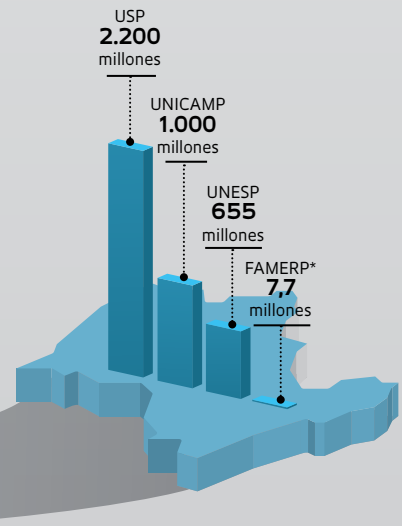
1 **POR REGIÓN** (en R$)



2 **POR ESTADO** (en millones de R$)



3 **EN EL ESTADO DE SÃO PAULO** (en R$)



*Facultad de Medicina de São José do Rio Preto

El aporte de São Paulo

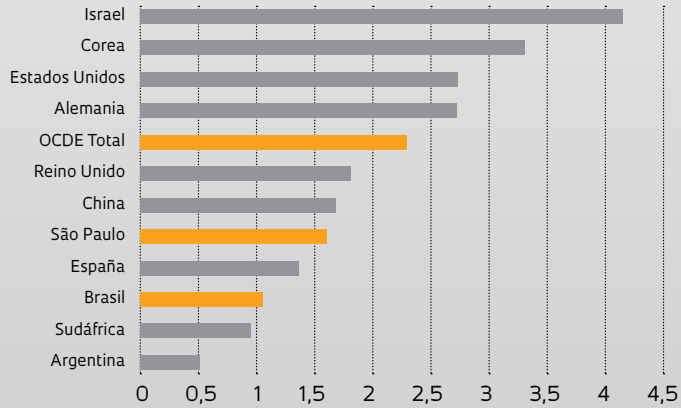
Evolución de los gastos en I&D de las instituciones estaduales de educación superior (en miles de millones de R$)

FUENTE INDICADORES NACIONALES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA/ MCTI

El cálculo se realiza relacionando los recursos utilizados por las instituciones con el número de docentes involucrados en los posgrados. Asignaciones para enseñanza, técnicos, mantenimiento de las instalaciones y jubilaciones no se tuvieron en cuenta para el cálculo realizado por el ministerio, ya que no se las considera gastos en I&D. Investigación y desarrollo, según la definición de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), es la categoría "que se refiere al trabajo creativo realizado en forma sistemática con la finalidad de aumentar el caudal del conocimiento y utilizarlo para el desarrollo de nuevas aplicaciones". Las erogaciones en I&D corresponden a la porción de los recursos que se invierte en ciencia y tecnología y que, por intermedio de la investigación básica y aplicada, contribuye en la capacitación de los países para la innovación.

Panorama internacional

Gasto total en I&D con relación al respectivo PIB –Brasil, estado de São Paulo y países seleccionados– 2010, el año más reciente



FUENTE OCDE, MCTI, INDICADORES FAPESP

CONTINUIDAD

La prorrectora de Investigación de la Unesp, Maria José Giannini, sostiene que una de las ventajas del modelo de São Paulo reside en su garantía de continuidad. "Evidentemente hay muchos investigadores altamente competentes en las universidades federales, pero resulta común que su trabajo se vea afectado por los recortes del presupuesto destinado a la investigación. En las universidades estaduales paulistas contamos con amplias condiciones para incentivar a los investigadores a presentar proyectos y captar recursos, porque la FAPESP siempre premia el mérito", dice. Según datos de la Unesp, el número de proyectos regulares y temáticos aprobados durante los últimos cuatro años en la FAPESP se duplicó con respecto al cuatrienio anterior. El total de recursos captados por la Unesp en 2011 fue de 151 millones de reales, frente a 70 millones de reales en 2007. En el caso de la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep), el aumento en la captación de recursos fue de un 230% en el cuatrienio.

Ronaldo Pilli, prorrector de Investigación de la Unicamp, enfatiza que las universidades estaduales paulistas han cumplido una función importante al aportar cuadros para el desarrollo del país. "No nos sorprende que las cifras revelen un predominio de inversiones en São Paulo. Pero sería bienvenido que las empresas ampliaran su participación en el sector de investigación y desarrollo, ya que nosotros podemos ofrecer una base de recursos humanos", afirma.

De todos modos, São Paulo es el único caso de un estado brasileño en que la inversión de las empresas en I&D supera a las inversiones públicas (un 62% del total, según *Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo*, publicado en 2001 por la FAPESP). Del mismo modo, el gasto público estadual de São Paulo, en I&D, que fue de 3.700 millones de reales en 2008, supera al del gobierno federal en el estado (2 mil millones de reales). Esta composición es bastante diferente a la que se observa en el resto de Brasil, donde las inversiones federales en I&D son mayoritarias (*observe el esquema de la página de al lado*).

Varios estados ampliaron la inversión en ciencia y tecnología en el pasado reciente

En el caso de la Unicamp, Pilli destaca el rol de la FAPESP, responsable por un 40% de los recursos para investigación captados por la universidad. "Aumentamos la captación de recursos para investigación de 220 millones de reales en 2007 a 350 millones de reales en 2011. Los recursos de la Fundación treparon de 80 millones de reales en 2007 a 131 millones de reales el año pasado. Durante el mismo período, los recursos del CNPq se redujeron y los de la Capes crecieron de 52 millones a 61 millones de reales", afirma.

El predominio de la inversión paulista no opaca el hecho de que varios estados han ampliado su inversión en ciencia y tecnología en un pasado reciente. En 2008, Río de Janeiro elevó a un 2% la cuota de la recaudación de impuestos asignada al presupuesto de la Fundación Estadual de Apoyo a la Investigación Científica, la Faperj. "Por esa razón, y también gracias al aumento de la recaudación estadual, el presupuesto de la Faperj saltó de 100 millones a 300 millones de reales", menciona el secretario estadual de Ciencia y Tecnología, Luiz Edmundo Costa Leite. Según el estudio realizado por el MCTI, los gastos en I&D del gobierno de Río en sus dos universidades, la Universidad Estadual del Norte Fluminense (Uenf) y la Universidad del

Estado de Río de Janeiro (Uerj), fueron de 208 millones de reales en 2010, más del doble que los 100 millones de reales computados en 2005. La Uerj se destaca, con dos tercios de los gastos en 2010. La cantidad de docentes de la Uerj, alrededor de 1.800, casi iguala al contingente de profesores de la Unicamp, aunque el número de alumnos de posgrado (2.800) es una décima parte del que se registra en la universidad paulista. "Mediante el aumento de la recaudación del estado, se ha realizado un esfuerzo para recuperar la capacidad de las universidades estaduales", dice Costa Leite.

En el estado de São Paulo, el esfuerzo de I&D de las empresas supera al total de la inversión pública

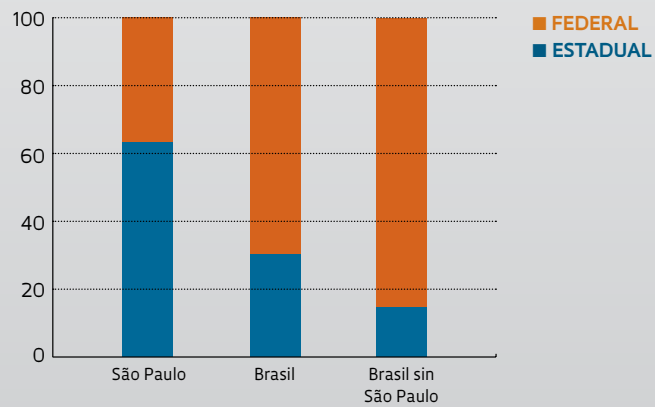
ARTICULACIÓN

La mayoría de las universidades públicas de Río de Janeiro es federal, como la Federal de Río de Janeiro (UFRJ), la Federal Fluminense (UFF), la Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ) y la Federal del Estado de Río (Unirio). "Pero las federales y las estaduales se desenvuelven articuladamente. Y la Faperj invierte buena parte de sus recursos en proyectos de las universidades federales. Solamente realizamos una convocatoria a la presentación de proyectos para el equipamiento de laboratorios, que es abierta únicamente para las estaduales", dice el secretario. Costa Leite afirma que hubo una circunstancia histórica que moldeó el sistema universitario fluminense de la manera en que se lo conoce. "Río de Janeiro fue la capital del país durante 200 años y varias universidades fueron creadas por el gobierno federal. También surgieron en Río otras instituciones de investigación con una gran historia, como por ejemplo, la Fundación Oswaldo Cruz. En tanto, en São Paulo, el crecimiento del sistema de investigación fue fruto de un esfuerzo del estado y, aliadas al crecimiento económico, se consolidaron las universidades estaduales", compara.

Minas Gerais cuenta con una trayectoria similar a la de Río de Janeiro. En 2010, el estado invirtió 10,2 millones de reales en investigación y desarrollo en dos instituciones, la Universidad Estadual de Minas Gerais (Uemg) y la Universidad Estadual de Montes Claros (Unimontes). El monto, si bien todavía es modesto, se triplicó en relación con los 2,9 millones de reales contabilizados en 2007, el primer año con registro de inversiones según indica el MCTI. El secretario estadual de Ciencia, Tecnología y Educación Superior de Minas Gerais, Narcio Rodrigues, explica que ese crecimiento refleja la decisión, tomada en 2007, de hacer valer la cláusula legal de invertir el 1% de la recaudación tributaria en ciencia, por intermedio de la Fundación de Apoyo a la Investigación Científica de Minas Gerais. "Nuestra estrategia ha consistido en garantizar que no se retroceda en el cumplimiento de esa pauta y de expandir los recursos realizando convenios con el gobierno federal y la iniciativa privada, que participan mediante contrapartidas", afirma Rodrigues. A su vez, éste explica que las universidades estaduales son tan sólo dos porque, en el pasado, la labor de promoción del sistema universitario de Minas Gerais fue tarea del gobierno federal. "Nuestro sistema cuenta con 14 instituciones de enseñanza superior, de las cuales 12 son federales, aunque funcionamos como un sistema articulado", añade. La mayor de ellas es la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG). "Nuestras universidades actúan principalmente fomentando el desarrollo regional. La Unimontes, que es la principal institución estadual, es bastante activa en la región más pobre de Minas Gerais. Este sistema regional es importante para el desarrollo del estado, pero, obviamente, lo ideal sería introducirle algo del que se encuentra vigente en São Paulo, donde el gobierno estadual se encargó de la misión de promover la educación superior y consolidó instituciones de importancia a nivel nacional", sostiene Narcio Rodrigues. ■

Gastos federales y estaduales en I&D

Composición del gasto público en investigación y desarrollo en el estado de São Paulo, en Brasil, y en Brasil sin contar el estado de São Paulo – en %



FUENTE ÍNDICADORES DE C, T E I EN SÃO PAULO, 2010

Referentes intelectuales

Premios internacionales como el que se le concedió a Fernando Henrique Cardoso realzan la imagen de la comunidad científica brasileña

Fabrício Marques

PUBLICADO EN AGOSTO DE 2012

El sociólogo y ex presidente de la República, Fernando Henrique Cardoso, de 81 años, recibió el 10 de julio el Premio John W. Kluge, que otorga la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos. Esta distinción, por valor de 1 millón de dólares, se creó como un reconocimiento al trabajo de estudiosos en el campo de las ciencias humanas y sociales no incluidas en las categorías del Premio Nobel, tales como historia, filosofía, ciencia política, psicología y antropología. "Estoy profundamente conmovido por este título inesperado. Soy el primer brasileño –y el primer latinoamericano– que recibe el Premio Kluge. Es un verdadero privilegio", dijo Cardoso, en su discurso de agradecimiento. "Hace algún tiempo, hubiera sido difícil para mí imaginar un galardón como éste. Pasé buena parte de mi trayectoria académica estudiando las relaciones entre los países ricos y los periféricos, naciones tales como Brasil, económica y geográficamente distantes. Esa división entre ricos y pobres parecía inmutable", afirmó.

Profesor emérito de la Universidad de São Paulo (USP), Fernando Henrique Cardoso gobernó Brasil entre 1995 y 2002. Fue senador de la República (entre 1983 y 1992), ministro de Relaciones Exteriores (en 1992) y ministro de Hacienda (de 1993 a 1994). El historiador James H. Billington, que dirige la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos desde 1987, destacó el peso de la obra del sociólogo brasileño. "El presidente Cardoso ha sido un ejemplo de investigador moderno, que combina profundo conocimiento y respeto por las evidencias empíricas", afirmó. "Su aspiración fundamental es buscar la verdad sobre la

FOTOS 1: LIBRARY OF CONGRESS 2 Y 3: WIKIMEDIA COMMONS

Fernando Henrique Cardoso es saludado por el historiador James Billington al recibir el Premio John Kluge en Washington. Al lado y abajo, la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos, que otorgó la distinción de 1 millón de dólares

sociedad, manteniendo una apertura a la revisión de sus conclusiones cuando se acumulan nuevas evidencias". El premio está administrado por el Centro Kluge de la Biblioteca del Congreso, que fue creado merced a una donación del empresario John Kluge (1914-2010) con el propósito de "promover una relación enriquecedora entre el mundo de las ideas y el mundo de la acción, entre estudiosos y líderes políticos".

De acuerdo con un comunicado emanado de la Biblioteca del Congreso, la elección de Fernando Henrique Cardoso se fundamentó en su aporte como sociólogo e intelectual, que sirvió como base para su liderazgo político. "Su análisis académico de las estructuras sociales del gobierno, de la economía y de las relaciones raciales en Brasil, estableció la base intelectual para su liderazgo como presidente durante la transformación de Brasil, de una dictadura militar con alta inflación, en una democracia vibrante y más inclusiva, con un fuerte crecimiento económico", afirmó el comunicado. La institución resaltó la "enorme energía intelectual" del ex presidente de Brasil, autor o coautor de más de 23 libros académicos y 116 artículos científicos. "Se convirtió en una figura internacional por el análisis innovador desarrollado junto al chileno Enzo Faletto en el debate sobre las mejores alternativas para el desarrollo", justificó la biblioteca. El trabajo en colaboración con Faletto se encuentra en el libro *Dependencia y desarrollo en América Latina*, editado en 1969.

El físico José Goldemberg fue laureado con el Premio Planeta Azul, considerado el Nobel en el campo del medio ambiente

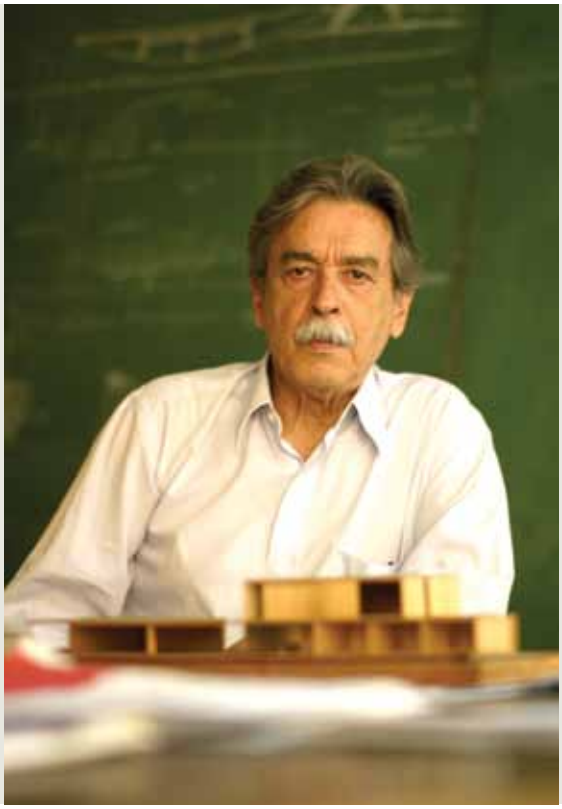
"UNA HEREJÍA EN AQUELLA ÉPOCA"

Ambos autores destacaron el rol de los factores internos para la comprensión de los procesos estructurales de dependencia. Buscaron mostrar de qué modo las diferentes formas de articulación entre las economías nacionales y el sistema internacional indicaban distintas formas de integración con los polos hegemónicos del capitalismo. "Al trabajar con mi colega Enzo Faletto, escribimos un libro que describía un mundo complejo y dinámico", dijo Cardoso. "Partiendo del análisis económico del economista argentino Raúl Prebisch y de otros pensadores de la Cepal [Comisión Económica para América Latina y el Caribe], notamos que la periferia se hallaba lejos de ser homogénea y estática. Nosotros subrayamos la formación histórica de las clases sociales, del Estado, así como las diferentes relaciones con el mercado mundial". Tales diferencias, manifestó el ex presidente, allanaron el camino hacia diferentes formas de desarrollo económico y social. "Esto suponía que los países pobres no están condenados al atraso permanente, sino impelidos a hallar los caminos adecuados para superar las barreras estructurales. Esto parece evidente ahora, pero en aquella época se lo consideró una herejía. Fuimos de los primeros en hablar sobre la internacionalización de los mercados internos", afirmó en su discurso.

El premio, concedido desde 2003, ha distinguido, entre otros, al historiador estadounidense Jaroslav Pelikan (1923-2006), al filósofo Paul Ricoeur (1913-2005) y al filósofo polaco Leskek Kolakowski (1927-2009). En un pasado reciente, otras personalidades académicas e investigadores de Brasil han sido galardonados con premios internacionales. Un ejemplo de ello es el físico José Goldemberg, laureado en 2008 por la Asahi Glass Foundation, de Japón, con el Premio Planeta Azul, con derecho a 50 millones de yenes (equivalente a 800 mil reales), por "haber dado importantes contribuciones para la formulación e implementación de diversas políticas asociadas con mejoras en el uso y conservación de la energía", destacándose un concepto formulado por él, según el cual, para su desarrollo, los países pobres no necesitan copiar los paradigmas tecnológicos que implementaron en el pasado los países ricos.

El Premio Planeta Azul, instituido en 1992 y señalado como un equivalente al Nobel en el área ambiental, ha reconocido el aporte de investigadores tales como el británico James Lovelock, creador de la hipótesis de Gaia, que toma a la Tierra como un gran organismo vivo. En su última edición, anunciada en el marco de la Conferencia Río+20, tuvo como uno de sus ganadores a Thomas Lovejoy, el biólogo que introdujo el concepto de biodiversidad en la comunidad científica.

En 2006, el arquitecto y urbanista Paulo Mendes da Rocha, de 82 años, se convirtió en el segundo brasileño en obtener el Premio Pritzker, el más importante de la arquitectura a nivel mundial. Oscar Niemeyer lo ganó en 1988. "Sus materiales de hormigón, que constituyen su



FOTOS MIGUEL BOYAYAN

El arquitecto Paulo Mendes da Rocha recibió en 2006 el Premio Pritzker, el más importante que se otorga en arquitectura

impronta, y sus métodos de construcción inteligentes y notablemente rectos, dan lugar a edificios poderosos y expresivos, reconocidos internacionalmente", informó el jurado del Pritzker. La arquitectura de Paulo Mendes da Rocha es un ejemplo del pensamiento característico de la escuela paulista en la arquitectura brasileña, una vertiente encabezada por João Batista Vilanova Artigas, y difundida en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la USP, de la cual Mendes da Rocha se convirtió en profesor. La escuela paulista se preocupaba esencialmente por la promoción de una arquitectura "cruda, limpia, clara y socialmente responsable".

Según opina el sociólogo Simon Schwartzman, estudioso de la comunidad científica brasileña e investigador del Instituto de Estudios del Trabajo y la Sociedad (Iets), el reconocimiento internacional a personalidades tales como Fernando Henrique Cardoso, Goldemberg y Mendes da Rocha tiene una gran importancia para la ciencia brasileña. "Más allá del prestigio y del orgullo que aportan estos premios, también contribuyen a formar la imagen de que en Brasil contamos con gente competente que actuó o actúa en instituciones de alto nivel, capaces por ello de participar de igual a igual en redes de intercambio de conocimientos, y recibir a estudiantes y expertos internacionales", afirma el profesor, quien remarca el origen de los tres investigadores. "Ellos fueron profesores en la Universidad de São Paulo, que es considerada como la mejor universidad de Latinoamérica, y una de las pocas de la región que aparecen en los *ranking* internacionales de excelencia académica", dice. "Aunque aún nos falta un Nobel", añade.

ORGULLO NACIONAL

Existen varios ejemplos de laureados con premios científicos y académicos que inspiraron a las siguientes generaciones, según apunta el historiador de la ciencia Shozo Motoyama, profesor de la USP. Uno de ellos fue el primer Nobel de Física concedido a un japonés, el físico teórico Hideki Yukawa, en 1949. "El premio le devolvió el orgullo nacional a un Japón arrasado por la guerra e incentivó a los jóvenes nipones a abocarse a la carrera científica, con excelentes resultados", comenta Motoyama. Un segundo ejemplo es el del danés Niels Bohr, Nobel de Física en 1922. "El premio llenó de orgullo a la pequeña Dinamarca, que financió al Instituto de Física de Copenhague, donde no sólo los daneses, sino también talentosos jóvenes físicos de todo el mundo pudieron desarrollar sus investigaciones. Uno de los resultados del trabajo de ese instituto fue el galardón para otro danés con el Nobel: Aage Bohr, el hijo de Niels, en 1975", afirma. "Considero importantes esos lauros desde el punto de vista de la sociedad brasileña, una nación sin tradición científica. En un mundo globalizado y en red, la búsqueda de identidades, ya sea en forma individual, nacional, comunitaria, religiosa u otras, pasa por el establecimiento de referencias, léase "mitos", que impulsen su cultura", observa Motoyama.

José Goldemberg afirma que hay investigadores brasileños que contaron con posibilidades de ganar un Nobel, tales como Carlos Chagas (1878-1934), el descubridor del protozoario causante de la enfermedad que luego se conocería como el mal de Chagas, y Maurício da Rocha e Silva (1910-1983), quien descubrió la bradicinina, que se utiliza contra la hipertensión. "El Nobel ha sido injusto en cuanto al aporte de los países periféricos", sostiene Goldemberg. "Jorge Amado fue un escritor más destacado que muchos de los ganadores del Nobel de Literatura". Él recuerda que el Nobel se instituyó en los primeros años del siglo XX, basándose en la estructura disciplinaria de aquella época, y reconoce los aportes en física, química y medicina o fisiología. "Incluso los premios de la Paz y de Economía no estaban contemplados en el testamento de Alfred Nobel, quien falleció en 1896, y se crearon posteriormente", informa.

El Premio Planeta Azul que Godemberg recibió es considerado como una especie de Nobel de la ecología, un área del conocimiento que se hallaba lejos de constituir una preocupación para la ciencia en 1901. "Se trata de un premio importante y me ofuscó un poco la escasa repercusión que tuvo en Brasil. El galardón para Cardoso, que es totalmente merecido, despejó esa sensación, ya que varios de nosotros aportamos contribuciones significativas. En el caso del ex presidente, se trata de un ejemplo de intelectual que contribuyó a resolver problemas de la sociedad", afirma. ■

Los tormentos del cuerpo y del alma

Las crisis de depresión y euforia provocan desequilibrios químicos que pueden dañar a las células y acelerar el envejecimiento del cuerpo

Ricardo Zorzetto

PUBLICADO EN JULIO DE 2012

El psiquiatra Rodrigo Bressan y otros investigadores de la Universidad Federal de São Paulo (Unifesp) monitorean desde 2009 a un grupo de adolescentes con alto riesgo de desarrollar graves enfermedades mentales, tales como trastorno bipolar y esquizofrenia. Intentan descubrir el momento adecuado para actuar antes de que los problemas se manifiesten y, de esa manera, tratar de evitar que se instalen. Simultáneamente, pretenden enseñarles a los adolescentes y a sus familiares a lidiar con situaciones estresantes que pueden disparar las crisis. Bressan y los psiquiatras Elisa Brietzke y Ary Araripe Neto quieren comprobar lo antes posible si los compuestos antiinflamatorios, antioxidantes o neurotróficos podrían proteger a las células cerebrales y, quizá, reducir el riesgo de desarrollar esas enfermedades mentales.

La estrategia de intentar proteger al cerebro con éstos y otros compuestos se basa en la hipótesis de que las neuronas y otras células cerebrales sufren daños degenerativos a partir del primer episodio intenso de la enfermedad, y algunos sospechan que los daños incluso pueden comenzar antes. Estudios recientes señalan que en esos trastornos el cerebro produce ciertos componentes en niveles nocivos que alteran el funcionamiento de las células y pueden provocar daños irreversibles a medida que van ocurriendo, ocasionando un deterioro de las capacidades de razonamiento,

ILUSTRACIONES EDUARDO SANCINETTI

planificación y aprendizaje, e incluso una cierta alteración leve y definitiva del humor. Simultáneamente con el aumento en la concentración de estas sustancias, también ocurriría una disminución de los compuestos neuroprotectores naturalmente producidos por el organismo.

Uno de los investigadores que ayudó en el desarrollo de esta hipótesis es el psiquiatra Flávio Kapczinski, docente de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) y coordinador del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Medicina Traslacional. Kapczinski está convencido de que la evolución dramática de los casos graves de trastorno bipolar y de depresión es la consecuencia de alteraciones fisiológicas causadas por crisis recurrentes.

Las crisis que de tanto en tanto atormentan la mente también envenenan el cuerpo, considera Kapczinski. Se comportarían como tempestades químicas que alteran el equilibrio de las células cerebrales y liberan compuestos que, transportados por la sangre, inundarían el organismo, en algunos casos provocando un grado de intoxicación tan grave como el que afronta alguien que desarrolla una infección generalizada (septicemia). Esas avalanchas tóxicas, reiteradas en el transcurso de años o décadas, y precipitadas por ataques de depresión o de manía, producirían un desgaste lento y progresivo del cerebro y de todo el cuerpo, disminuyendo la capacidad de recuperación y acelerando el proceso de envejecimiento.

La idea que sostiene que el trastorno bipolar y la depresión se agravan con cada brote puede indicar la necesidad de diagnóstico e intervención precoz

Kapczinski empezó a elaborar este modelo teórico basándose en experimentos llevados adelante por su equipo y por otros grupos con miras a explicar cómo y por qué la depresión y el trastorno bipolar, una vez declarados y sin un tratamiento adecuado, siguen un patrón de agravamiento progresivo que puede culminar con la muerte precoz por problemas cardiovasculares e incluso cáncer. Según el modelo, otras enfermedades que aparentemente nada tienen que ver con lo que ocurre en el cerebro, podrían evolucionar como resultado de los desequilibrios orgánicos generados por los episodios severos de depresión y manía.

Esta hipótesis, presentada inicialmente en 2008 en la revista *Neuroscience and Behavioral Reviews*, está obteniendo reconocimiento internacional. Durante el último año, los estudios de Kapczinski han sido citados alrededor de mil veces en otros trabajos. El psiquiatra australiano Michael Berk, de la Universidad de Melbourne, examina esas investigaciones y, junto a Kapczinski, nombró a este nuevo modelo como neuroprogresión.

"Sabemos que estos desórdenes son progresivos, y esta propuesta teórica explica por qué", dice Berk. En su opinión, la interpretación de que estas enfermedades se agravan con cada brote puede generar un importante impacto en el tratamiento, ya que indica la necesidad del diagnóstico e intervención precoz, aparte de sugerir que

las terapias neuroprotectoras pueden atenuar el efecto de estos problemas.

"La idea está planteada", dice el investigador de la UFRGS. "Ahora se puede trabajar para intentar confirmarla o refutarla". Él sabe que el modelo es audaz y que se necesita recabar mayores evidencias para demostrar que representa de manera adecuada la evolución de la depresión y del trastorno bipolar. "Tenemos trabajo para unas dos décadas", dice Kapczinski.

CONCEPTO Y REALIDAD

Según algunos especialistas, el concepto de neuroprogresión explica correctamente los síntomas clínicos, pero podría cuestionarse si esas alteraciones biológicas ocurren realmente, toda vez que las evidencias todavía son incipientes. En general los estudios por imágenes que indican una disminución del volumen de algunas áreas cerebrales se efectúan con pacientes de diferentes edades que afrontaron distintas cantidades de brotes maníacos o depresivos. Para recabar pruebas más concluyentes se necesitaría evaluar a los pacientes durante varios años, realizando exámenes de tanto en tanto, para analizar la evolución del problema.

Aunque se halle lejos de comprobarse, esta propuesta está abriendo caminos para la búsqueda de terapias más específicas y eficientes, y para el desarrollo de estrategias que permitan detectar precozmente a los individuos con propensión al desarrollo de esas afecciones, tal como viene haciendo el equipo de la Unifesp.

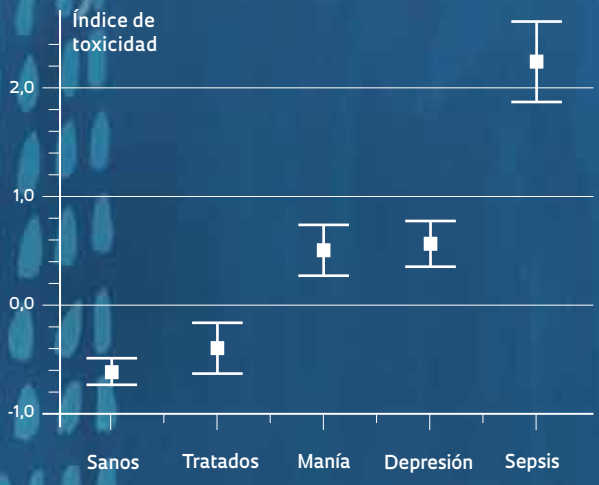
De estar correcta, esta idea puede ayudar a comprender cómo una enfermedad que en principio se manifiesta con un cuadro relativamente benigno, en pocos años deteriora la capacidad de raciocinio, planificación y aprendizaje y altera definitivamente el humor a punto tal de impedirle al individuo llevar una vida normal, tal como Kapczinski y otros médicos están habituados a observar.

"Ése es uno de los múltiples mecanismos de progresión de la enfermedad", afirma el psiquiatra estadounidense Robert Post, una autoridad internacional en trastorno bipolar. "La evidencia más clara [de que puede estar en lo cierto] es que el número de episodios maníacos o depresivos precedentes se encuentra correlacionado con el grado de disfunción cognitiva", afirma Post, con quien Kapczinski colabora desde 2008.

En un artículo publicado en mayo de este año en el *Journal of Psychiatric Research*, Post, Kapczinski y Jaclyn Fleming analizaron casi 200 trabajos que contienen evidencias de que la disfunción cognitiva aumenta, las alteraciones en algunas regiones cerebrales se intensifican y el tratamiento pierde eficacia a medida que crece el número de crisis y la duración de la enfermedad. En el artículo, los investigadores reconocen que no es posible saber si toda esta transformación

El cuerpo envenenado

El gráfico muestra el nivel promedio de compuestos tóxicos en la sangre, que, durante los brotes maníacos o depresivos, es superior al de los individuos sanos o tratados e inferior al de los pacientes con septicemia



FUENTE KAPCZINSKI ET AL./ MOLECULAR PSYCHIATRY 2010

es la causa o una consecuencia de la afección. Aunque sugieren que, desde el punto de vista clínico, parece prudente comenzar el tratamiento lo más pronto posible y mantenerlo durante un período prolongado.

"Según este enfoque, un brote maníaco o depresivo puede entenderse de la misma manera que un infarto", dice Elisa Brietzke, quien fuera alumna de posgrado de Kapczinski. "Son todos eventos agudos, productos de alteraciones que aparecieron en el organismo bastante antes". Frente a esta interpretación, añade Araripe, "el objetivo del tratamiento deja de ser la sola remisión de los síntomas y pasa a ser evitar la recaída y ayudar en el mantenimiento de la capacidad funcional".

DAÑOS A LAS CÉLULAS

El modelo sobre la progresión de las enfermedades mentales postulado por Kapczinski y sus colaboradores representa un avance en relación con los anteriores. La propuesta teórica más aceptada considera a los trastornos mentales el resultado de la interacción entre las condiciones sociales, económicas, psicológicas y culturales en que vive el individuo (los factores ambientales) y su propensión al desarrollo del problema, determinada por sus características genéticas.

Ese abordaje más antiguo comenzó a construirse hace una década; elaborado por los psicólogos Avshalom Caspi y Terrie Moffit, investigadores del King's College, en Londres, a partir de los resultados de los estudios en que evaluaron a 1.037 niños desde los 3 años de edad hasta los 26 años. En esos trabajos, observaron que ciertas alteraciones en los genes encargados de la producción de mensajeros químicos del cerebro (neurotransmisores) aumentaban el riesgo de los individuos de desarrollar un comportamiento antisocial o una depresión.

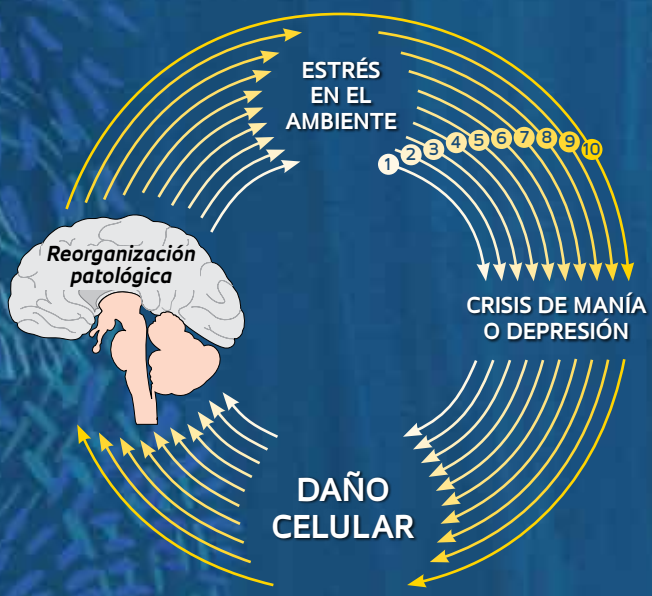
Más allá de la influencia de los genes y del medio ambiente, Kapczinski y sus colaboradores incluyen en el nuevo modelo un tercer elemento: los daños en las células cerebrales y de otros órganos causados por los brotes de la propia enfermedad psiquiátrica. Estos ataques, en general comienzan como una respuesta del organismo ante un evento estresante, que puede ser intenso y breve, tal como un asalto a mano armada, o más leve y duradero, como es el caso de aquél que vive quien trabaja todo el tiempo bajo tensión. Al repetirse muchas veces, los episodios maníacos o depresivos acaban por minar la capacidad del cuerpo para afrontar nuevos eventos estresantes. "Nuestra hipótesis consiste en que la enfermedad se realimenta", comenta Kapczinski.

Al repetirse las crisis, la disfunción cognitiva aumenta, las alteraciones cerebrales se intensifican y el tratamiento pierde eficacia

Esta propuesta parece explicar mejor la profundización de los desórdenes psiquiátricos signados por crisis sucesivas, tales como la depresión y el trastorno bipolar. En estas enfermedades, la incidencia de los factores ambientales sobre la propensión

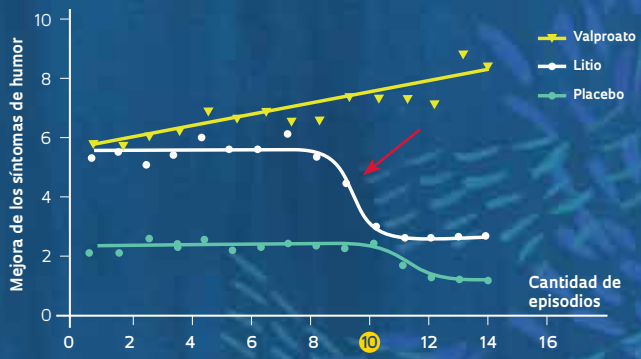
Un círculo vicioso

A partir de la décima crisis maníaca o depresiva los brotes comienzan a ocurrir incluso ante la ausencia de factores que provoquen estrés



LA RESPUESTA AL TRATAMIENTO

Los pacientes con múltiples episodios presentaban peor respuesta al tratamiento, especialmente al litio



A medida que la enfermedad progresa, los brotes maníacos y depresivos pueden lograr autonomía y tornarse independientes de los factores que los desencadenan

genética sería fundamental para provocar los primeros episodios maníacos o depresivos. Pero esos factores perderían relevancia a medida que avanza la enfermedad y los brotes son cada vez más frecuentes y prolongados –e, en algunos casos, incluso utilizando medicamentos–, y el intervalo entre ellos es menor. Con el tiempo, en general, a partir de la décima crisis, los brotes adquieren autonomía y pueden ser independientes de las condiciones estresantes que anteriormente se disparaban (*vea la infografía de la página de al lado*).

UNA TORMENTA QUÍMICA

Desde hace tiempo se sabe que con cada episodio leve o intenso de estrés, provocado por un peligro real o imaginario, el organismo reacciona liberando la hormona cortisol. Esta hormona, producida por las glándulas situadas sobre los riñones y vertida al torrente sanguíneo en pequeñas cantidades y en un breve lapso de tiempo, eleva la frecuencia cardíaca, aumenta la presión arterial y acelera la producción de energía. En fin, prepara al cuerpo para huir del peligro o para enfrentarlo. No obstante, en dosis altas y durante períodos prolongados, tal como suele suceder frente a las crisis, el cortisol comienza a lesionar a los órganos, entre ellos el cerebro (*lea en* Pesquisa FAPESP*, edición nº 129*).

Hace poco, los investigadores del Instituto Nacional de Salud Mental de Estados Unidos comprobaron que, en el interior de las células cerebrales, especialmente en las neuronas, los niveles elevados de cortisol dañan a las mitocondrias, que son los compartimientos donde el azúcar de los alimentos se convierte en energía. Y los daños en las mitocondrias significan problema seguro. Éstas producen el 85% de la energía que consumen las células para mantenerse vivas. Aunque de manera indirecta, el exceso de cortisol provoca la aparición de poros en las paredes mitocondriales, por donde se filtran compuestos tóxicos que dañan a los lípidos y las proteínas, alterando la estructura de la molécula de ADN en el núcleo de las células. Toda esta transformación activa los mecanismos de la apoptosis, la muerte celular programada.

Mediante una técnica que permite evaluar a las miles de proteínas producidas por el organismo en determinado momento, el biólogo brasileño Daniel Martins-de-Souza, investigador del Instituto Max Planck para Psiquiatría, con sede en Alemania, también obtuvo indicios de que el funcionamiento de estos orgánulos se ve alterado en las enfermedades psiquiátricas. En particular, en los casos de depresión, verificó diferencias en la fase final de la producción de energía, la denominada fosforilación oxidativa o respiración celular, que ocurre en el interior de las mitocondrias.

Las consecuencias de los daños en las mitocondrias no se restringen a las células. Los compuestos liberados por éstas llegan al torrente sanguíneo y activan proteínas del sistema de defensa que disparan la inflamación, tales como la interleuquina-6 (IL-6), la interleuquina-10 (IL-10) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF-alfa). Cuando llegan al cerebro, estas proteínas provocan otras reacciones bioquímicas que causan la muerte de más neuronas. Según Kapczinski, este proceso realimenta la destrucción celular, reforzada por otro fenómeno típico del trastorno bipolar: la superproducción del neurotransmisor dopamina, que también activa la apoptosis.

Al medir los niveles de esos compuestos en la sangre, el grupo de Kapczinski detectó un fenómeno al cual se prestaba poca atención: los brotes causan una toxicidad sistémica. Según él, durante los episodios maníacos y depresivos, el nivel de compuestos asociados con la inflamación era bastante más elevado que el normal en sangre de los individuos con trastorno bipolar, y en algunos casos era similar al de la gente internada en unidades de terapia intensiva con infección generalizada (septicemia).

Ya se demostró en roedores que la toxicidad evidenciada en la sangre se corresponde con alteraciones en las células cerebrales. Pero esto todavía

necesita comprobarse en seres humanos. "El mejor test para comprobar los efectos tóxicos de los episodios consistiría en realizar una intervención para evitarlos y verificar si la misma sería capaz de evitar alteraciones neurobiológicas", dice Post.

La mayoría de las células parece sobrevivir a esta tormenta química, aunque con daños. Las imágenes del cerebro en funcionamiento y exámenes microscópicos del tejido cerebral *post mortem* indican que, durante las crisis maníacas o depresivas, algunas regiones pierden entre un 10% y un 20% más de neuronas que en condiciones normales. De acuerdo con psiquiatras y neurólogos, ese nivel de pérdida no resulta suficiente como para clasificar a los trastornos de humor como enfermedades neurodegenerativas. Tanto en el trastorno bipolar como en la depresión, el problema mayor reside en que las neuronas que sobreviven no quedan íntegras: aparentemente, pierden las prolongaciones denominadas neuritas, que las conectan con otras neuronas.

Muchos investigadores del área consideran que es la pérdida de conectividad neuronal lo que compromete el funcionamiento de las regiones cerebrales mayormente afectadas por los trastornos del humor. El hecho de constituir alteraciones sutiles puede explicar por qué el neuropatólogo alemán Alois Alzheimer, quien describiera hace 100 años los daños neuronales típicos de la enfermedad que lleva su nombre, no halló alteraciones importantes en el cerebro de los individuos con depresión, razón por la cual se dijo en la época que la neuropatología era la tumba de los psiquiatras. "A pesar de ser sutiles, estas transformaciones serían suficientes para ocasionar una reorganización patológica del cerebro", afirma Kapczinski.

Las transformaciones anatómicas del cerebro en las enfermedades del humor comenzaron a hacerse evidentes hace alrededor de 10 años, cuando Grazyna Rjkowska y su grupo en la Universidad de Misisipi constataron una disminución del volumen de la corteza prefrontal en los individuos con depresión. La reducción del volumen de esa área y también en la región de los ventrículos está confirmándose mediante estudios por imágenes también para el trastorno bipolar. Ubicada en el sector anterior del cerebro, la corteza prefrontal es responsable por la estructuración del raciocinio, por la toma de decisiones y por el control del comportamiento. Esta alteración morfológica permite explicar por qué, cuando avanza la enfermedad, quien padece trastorno bipolar pierde progresivamente la capacidad de planificación y aprendizaje. Estos individuos también se volverían más impulsivos y susceptibles a las emociones, dado que ocurre simultáneamente un aumento del volumen de la amígdala, que coordina la respuesta al miedo y a las emociones negativas.

UNA HIPÓTESIS EN FORMACIÓN

Kapczinski comenzó a reunir evidencias de que una tormenta química se instala en el organismo de quien sufre de trastorno bipolar en 1997, cuando regresó de su doctorado en Inglaterra y de una pasantía en Canadá. En esa época, el grupo que conducía en el Laboratorio de Psiquiatría Molecular de la UFRGS había notado que los individuos con trastorno bipolar, más allá de las alteraciones psicológicas y cognitivas observadas en general por los psiquiatras, presentaban altos niveles de compuestos en sangre que indican daños en las células cerebrales y bajo índice de factores de protección de esas células. "Las moléculas que estudiamos funcionan como biomarcadores [indicadores de alteraciones biológicas] que permiten distinguir si la enfermedad se encuentra en una fase inicial o avanzada", afirma Kapczinski.

Y conocer en qué fase se encuentra la enfermedad es importante para indicar un tratamiento adecuado, que en el caso de esta nueva hipótesis puede colaborar para perfeccionar el uso de los medicamentos. Existen evidencias de que el control de la enfermedad inmediatamente después de los primeros episodios de depresión o de euforia preserva la capacidad de recuperación del organismo, impidiendo la degradación psicológica y

cognitiva. Los medicamentos –estabilizadores del humor, antidepresivos, antipsicóticos y anticonvulsivos, utilizados solos o combinados– en general son eficaces en un 80% de los casos de trastorno bipolar y de depresión, y, está comprobado, producen un efecto neuroprotector, especialmente el litio, un estabilizador del humor barato y eficiente, que en el pasado se utilizaba para combatir el estrés, la gota y los cálculos renales.

Pero los psiquiatras no siempre logran acertar con la medicación y la dosis en el primer intento. Un reciente estudio estadounidense, llevado a cabo por investigadores de la Escuela Médica Mount Sinai, con 4.035 casos de trastorno bipolar, comprobó que un 40% de ellos, especialmente aquéllos con un cuadro depresivo muy grave, sólo lograban mantener bajo control la enfermedad tomando tres o más fármacos.

Kapczinski cree que, generalmente, estas afecciones alcanzan una fase mucho más difícil de controlar luego de la décima crisis, que comúnmente ocurre unos 10 años después de las primeras manifestaciones de la enfermedad. Por esa razón, los psiquiatras consideran fundamental comenzar el tratamiento con medicamentos lo más pronto posible. Ya se había observado también que el litio, uno de los medicamentos más utilizados en el tratamiento del trastorno bipolar, pierde eficacia luego del décimo brote (*observe el gráfico de la página 36*).

Los individuos con trastorno mental normalmente recién acuden al psiquiatra mucho tiempo después de la aparición de los primeros síntomas de la afección. Puede que pasen años hasta que un especialista haga un diagnóstico correcto y recete los medicamentos adecuados. En el caso del trastorno bipolar, el período transcurrido entre la primera manifestación del problema y el inicio del tratamiento varía entre 5 y 10 años, un tiempo suficiente como para que surjan complicaciones laborales, y de convivencia con la familia y los amigos, y la vida se desordene.

Con cada crisis, las células cerebrales pueden sufrir daños y perder parte de las ramificaciones que las conectan con otras células

LAS PARTES Y EL TODO

Al analizar las variaciones en los niveles de esos biomarcadores en la sangre de los pacientes, Kapczinski se vio ante la necesidad de buscar una explicación con mayor alcance, que le permitiera asociar los síntomas clínicos de la enfermedad con las alteraciones fisiológicas y anatómicas que la ciencia empezaba a detectar en el cerebro de los individuos con trastorno bipolar, que en promedio, afecta al 1% de la población –se calcula que hasta un 8% puede presentar formas más leves–, y otro desorden del humor bastante más común: la depresión mayor o unipolar, que casi un 15% de los adultos desarrolla durante el transcurso de su vida.

Kapczinski no estaba satisfecho con lo que tenía entre manos cuando recibió una invitación para presentar los resultados logrados por su grupo en un simposio internacional en el Hospital Clínic de Barcelona, en España, a mediados de 2006. "Faltaba una amalgama teórica que demostrase cómo encajaban los datos", dice Kapczinski.

Él y su equipo habían extraído muestras de sangre de pacientes con trastorno bipolar durante los períodos en que se sufren los estados extremos de humor, que varían entre una tristeza intensa y baja autoestima y una gran vitalidad y energía mucho mayor que lo normal. Por medio de una batería de test, el psiquiatra Angelo Miralha da Cunha, quien entonces actuaba en la UFRGS, observó un nuevo fenómeno, tanto en las crisis depresivas como en los episodios maníacos: los

niveles del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), de acción neuroprotectora, eran al menos un 25% más bajos que en los individuos que no sufrían el trastorno o que lo mantenían bajo control con la ayuda de medicamentos.

Al mismo tiempo, Ana Cristina Andreazza y Elisa Brietzke, quienes integraban el equipo de Kapczinski, detectaron tasas más elevadas de proteínas indicadoras de inflamación, además de altos niveles de radicales libres, moléculas altamente reactivas, con potencial para dañar a las células, durante los períodos de alteración del humor. Estos datos sugerían que la sangre podría albergar pistas de lo que ocurría en el cerebro. Sin embargo, a esa altura, no era posible conocer con seguridad qué significaba esa alteración ni por qué sucedía.

LA AMALGAMA TEÓRICA

Kapczinski halló la amalgama teórica que buscaba en los estudios del neurocientífico estadounidense Bruce McEwen. En el año 2000, McEwen había postulado la hipótesis de que las situaciones estresantes obligan al organismo a realizar ajustes para recuperar la estabilidad perdida. McEwen denominó a esa adaptación, alostasis, una modificación necesaria para restablecer el equilibrio (homeostasis). Y agregó algo más. Con el paso del tiempo, esta adaptación cobraba un precio: ocasionaba un desgaste en el organismo.

Las propuestas teóricas del psiquiatra Robert Post complementaban esa idea. En la década de 1980, Post había sugerido que los signos clínicos del trastorno bipolar se volverían más intensos con cada crisis, como consecuencia de la mayor sensibilidad de los circuitos cerebrales afectados en los episodios previos. Este fenómeno, denominado en inglés *kindling*, había sido descubierto dos décadas antes por Graham Goddard, un neurocientífico inglés que estudiaba la epilepsia. En ensayos con roedores, Goddard notó que los estímulos eléctricos de baja intensidad, inicialmente incapaces de ocasionar daños al animal, pasaban a disparar crisis epilépticas luego de repetirse algunas veces, un síntoma de que el cerebro se había tornado más sensible.

"A partir de esos experimentos, otros autores comenzaron a estipular la idea de que el cerebro aprendía también a estar enfermo en otras situa-

Los medicamentos controlan el 80% de los casos de trastorno bipolar y depresión, pero los pacientes tardan en buscar tratamiento y los médicos no siempre aciertan al primer intento

ciones, especialmente en el caso del trastorno bipolar", comenta el neurofisiólogo Luiz Eugenio Mello, de la Unifesp. "En concordancia con esa idea, las modificaciones del sistema nervioso central, posiblemente al nivel de las sinapsis [las conexiones entre las células cerebrales], serían capaces de transformar un cerebro levemente enfermo en uno muy enfermo", explica.

Al analizar sus datos a la luz de la idea de alostasis y sensibilización –posteriormente reunidas en el concepto de neuroprogresión–, Kapczinski halló el vínculo entre lo que su grupo había observado y las alteraciones de volumen de algunas áreas del cerebro que detectaban los equipos extranjeros. Esta unificación de conceptos podría explicar el origen de los síntomas clínicos característicos de estas enfermedades y, además, por qué los individuos con trastorno bipolar y depresión pueden morir entre 25 y 30 años más pronto que la gente sin desordenes psiquiátricos. Una proporción mayor de los individuos con trastorno bipolar y depresión, desarrolla cáncer y trastornos cardiovasculares.

Alentado por el neurocientífico Iván Izquierdo, Kapczinski hizo algo poco frecuente en el área de la salud en Brasil: formuló una teoría para explicar el desarrollo y las derivaciones de las enfermedades psiquiátricas. Como todo intento por reproducir una realidad a partir de fragmentos que pueden identificarse y medirse, el modelo teórico concebido por el grupo *gaúcho* continúa en constante perfeccionamiento. Desde la presentación en Barcelona, Kapczinski y sus colaboradores de Brasil, Australia, Estados Unidos y España, trabajan para mejorar esa propuesta teórica y comprobar si se hallan en la dirección correcta.

El propio Kapczinski está poniendo a prueba su hipótesis al testear en ratones una versión modificada del antidepresivo tianeptina, desarrollado en la UFRGS, con el propósito de aumentar la protección de las neuronas. Otra forma de verificar si la hipótesis es correcta consiste en examinar las alteraciones químicas y celulares en muestras de bancos de cerebros de individuos con enfermedades psiquiátricas, tal como el que están organizando los psiquiatras Beny Lafer y Helena Brentani en la Facultad de Medicina de la USP. En otra línea de trabajo, Lafer comenzó recientemente un test clínico con suplementos del aminoácido creatina, que mejorará el funcionamiento de las mitocondrias y también puede aumentar la protección celular.

Ana Cristina Andreazza, actualmente investigadora en la Universidad de Toronto, estudia los efectos del mal funcionamiento de las mitocondrias en las células cerebrales, y recuerda que una dieta adecuada y rica en antioxidantes también puede auxiliar en la protección cerebral.

"La hipótesis de la neuroprogresión constituye hoy en día uno de los modelos relevantes para explicar la progresión de estas enfermedades", comenta Lafer, colaborador del grupo *gaúcho*. "Existen otras hipótesis, basadas en la genética, en la interacción entre los genes y el medio ambiente, y en la inflamación, aunque todavía no se ha arribado a un consenso". ■

Los proyectos

1 Análisis estereológico *post mortem* de las principales regiones cerebrales de individuos portadores de trastorno afectivo bipolar nº 09/ 51482-0; **2** La prevención en la esquizofrenia y en el trastorno bipolar, de la neurociencia a la comunidad: una plataforma multifacética, multimodal y traslacional para la investigación y tratamiento nº 11/ 50740-5 **Modalidad 1** Apoyo Regular al Proyecto de Investigación; **2** Proyecto Temático/ Pronex **Coordinadores 1** Beny Lafer – USP; **2** Rodrigo Affonseca Bressan – Unifesp **Inversión 1** R$ 130.249,30; **2** R$ 2.378.201,50

Artículos científicos

1 KAPCZINSKI, F. *et al.* Allostatic load in bipolar disorder: Implications for pathophysiology and treatment. **Neuroscience and Behavioral Reviews.** v. 32, p. 675-92. 2008.

2 BERK, M. *et al.* Pathways underlying neuroprogression in bipolar disorder: Focus on inflammation, oxidative stress and neurotrophic factors. **Neuroscience and Behavioral Reviews.** v. 35, p. 804-17. 2011.

Doble tratamiento

La utilización combinada de células madre y factor de crecimiento reduce los síntomas de la enfermedad en ratones

Marcos Pivetta

PUBLICADO EN JULIO DE 2012

El empleo de inyecciones periódicas de un tipo de célula madre humana adulta combinadas con dosis diarias de un factor de crecimiento puede ser una alternativa prometedora para el tratamiento de distrofias musculares progresivas. Investigadores del Centro de Estudios del Genoma Humano de la Universidad de São Paulo (USP) lograron, mediante este abordaje, resultados alentadores en pruebas con células musculares de pacientes con distrofia de Duchenne y en ratones con una forma congénita de distrofia muscular. En la terapia combinada se utilizaron células madre mesenquimales (CTMs) extraídas de cordones umbilicales de recién nacidos, conjuntamente con dosis de factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1). En los tejidos humanos, este esquema terapéutico incrementó la expresión (activación) de la distrofina, una proteína esencial para mantener la integridad de los músculos. En los roedores, el protocolo de tratamiento testeado disminuyó la inflamación y la fibrosis muscular, lo cual condujo a una mejoría de la condición clínica de los animales. Los resultados de este trabajo se publicaron el 4 de junio en la versión *online* de la revista científica *Stem Cell Reviews and Reports*.

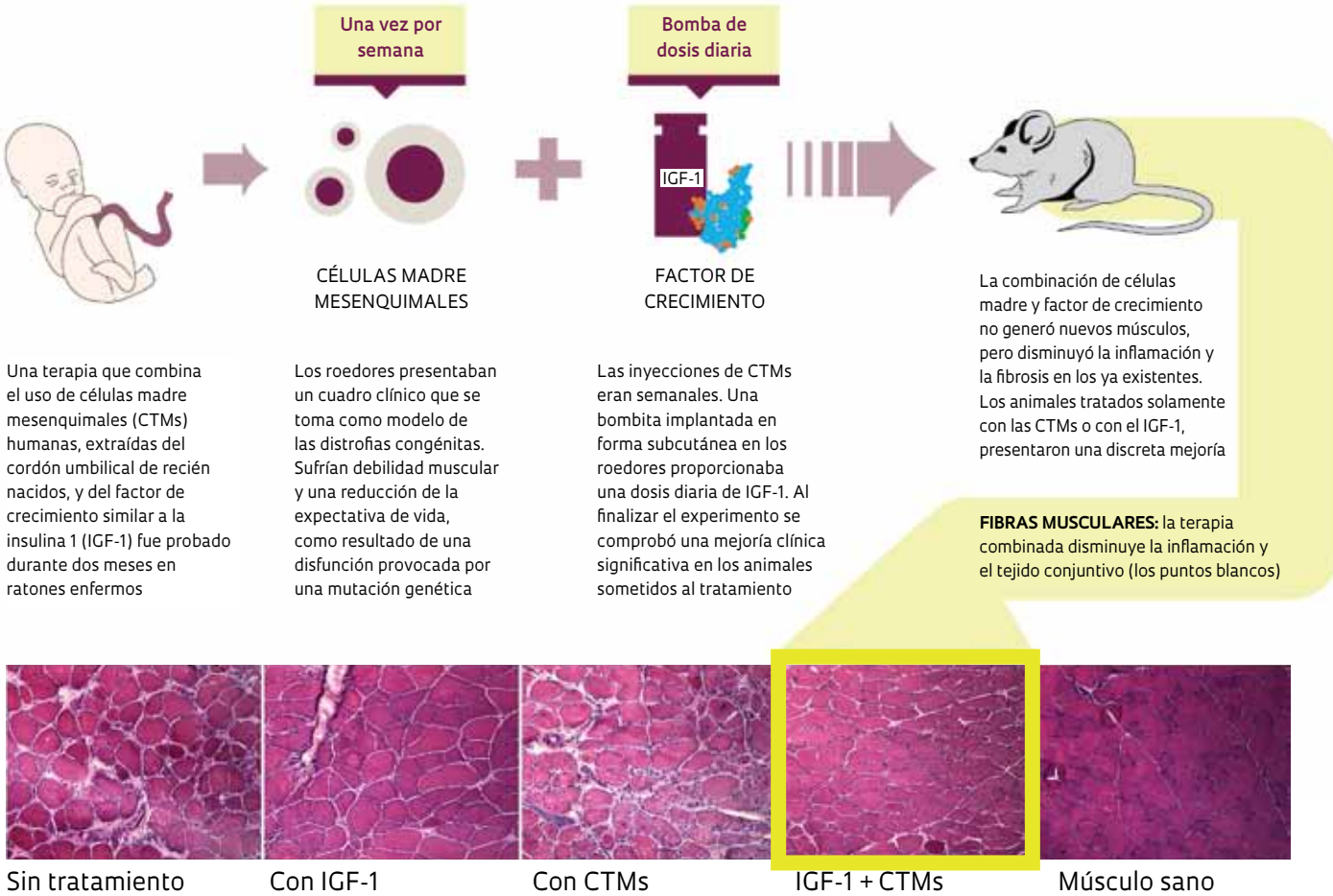
La dupla conformada por células madre e IGF-1 no generó nuevos músculos sanos, tal como se esperaba en un principio. Pero parece haber generado mejores condiciones para la preservación de la funcionalidad de la musculatura ya existente. De tal manera que este abordaje podría constituir una alternativa para evitar o disminuir la degeneración provocada por las distrofias en general. Y la terapia conjunta también ofrece una ventaja extra. “Las células madre mesenquimales poseen propiedades inmunosupresoras”, explica Mayana Zatz, coordinadora del equipo que realizó el estudio y del centro perteneciente a la USP, uno de los Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid) financiados por la FAPESP. “Con ellas redujimos el riesgo de rechazo al material injertado”. El sistema inmunológico de los ratones del experimento, por ejemplo, no tuvo que ser “desconectado” previamente a que los animales recibieran las inyecciones de células madre humanas.

Normalmente, cuando el donante y el receptor de tejidos o células no constituyen un mismo individuo, hay que destruir temporalmente las defensas inmunológicas del organismo objeto del implante, un procedimiento siempre riesgoso, que deja al paciente vulnerable ante agresiones externas. No obstante, si no se hace eso, el material cedido por el donante será interpretado por las defensas del receptor como un agente potencialmente peligroso y el implante será fatalmente rechazado. Mediante el empleo de células mesenquimales, la cuestión del rechazo aparentemente puede eludirse sin necesidad de anular al sistema inmunológico del paciente, incluso en casos extremos, tal como en el experimento realizado en la USP, cuando el receptor (ratón) y el donante (ser humano) pertenecen a distintas especies.

Existen indicios de que ambos componentes de la posible terapia combinada contra la distrofia pueden ser beneficiosos para los músculos. Las células madre mesenquimales son bastante indiferenciadas y poseen la capacidad de generar varios tipos de tejidos, tales como huesos, cartílagos, grasa, células de soporte para la formación de la sangre y también tejido fibroso conectivo. Se sospecha también que pueden desempeñar alguna función en el proceso de regeneración muscular. Entre otras funciones, el IGF-1 está

IMÁGENES MARIANE SECCO **INFOGRAFÍA** LAURA DAVIÑA **FUENTE** CENTRO DE ESTUDIOS DEL GENOMA HUMANO DE LA UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO (USP)

Una posible terapia contra la distrofia



involucrado en los procesos de desarrollo y crecimiento muscular. Por ende, la evaluación de los posibles efectos de un esquema terapéutico con ambos componentes era imprescindible.

En los test *in vivo*, los investigadores evaluaron durante alrededor de 60 días diferentes protocolos de tratamiento en 46 ratones que presentaban un cuadro clínico tomado como modelo de las distrofias musculares congénitas. Debido a una mutación en el gen de la laminina alfa 2, los animales sufren una deficiencia en la producción de la proteína merosina, una disfunción que provoca debilidad muscular y reduce la expectativa de vida. "Ellos arrastran sus patas traseras y se reduce considerablemente su fuerza muscular", afirma la bióloga Mariane Secco, principal responsable de los experimentos en tejidos humanos y animales.

Los roedores fueron separados en cuatro grupos: el primero no fue tratado y funcionó como grupo control; el segundo tan sólo recibió inyecciones de células madre; el tercero, solamente dosis del factor de crecimiento; y el cuarto fue objeto de la terapia combinada. Se inyectaron células madre una vez por semana en los roedores. Una pequeña bomba implantada bajo la piel proveía diariamente una dosis de dos miligramos de IGF-1 por kilogramo corporal de los animales. Al final del estudio se realizó una biopsia de los tejidos musculares, constatándose una mejoría significativa entre los animales que fueron tratados con la terapia combinada.

Frente a los resultados positivos, Zatz, Secco y sus colaboradores sospecharon, inicialmente, que el IGF-1 había estimulado a las CTMs a convertirse en células musculares. Pero tal transformación no se detectó en ninguno de los cuatro grupos de ratones. La mejoría comprobada fue ocasionada por la disminución de la inflamación y del nivel de fibrosis muscular, que, a su vez, puede haber conducido a un aumento en la fortaleza de la musculatura esquelética de los animales enfermos. Aparentemente, el factor de crecimiento potencia los efectos de las células madre y viceversa. "Creemos que no es necesario que se produzca la diferenciación de las células madre injertadas en células musculares para que haya un beneficio clínico", afirma Zatz. El tratamiento combinado será probado en canes con distrofia para verificar si los resultados positivos también se manifiestan en estos animales. ■

El proyecto

Centro de Estudios del Genoma Humano nº 1998/14254-2 **Modalidad** Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid) **Coordinadora** Mayana Zatz – IB-USP **Inversión** R$ 34.412.866,53

Artículo científico

SECCO, M. *et al.* Systemic delivery of human mesenchymal stromal cells combined with IGF-1 enhances muscle functional recovery in LAMA2dy/2j dystrophic mice. **Stem Cells Reviews and Reports.** Publicado *online* el 4 de jun. 2012.

Expansión mineral

La compañía Vale cumple 70 años invirtiendo en proyectos de largo plazo enfocados en el desarrollo sostenible y la minería

Dinorah Ereno

PUBLICADO EN AGOSTO DE 2012

Durante el transcurso de siete décadas, Vale pasó de ser una pequeña empresa minera de la localidad de Itabira, en Minas Gerais, al puesto de líder mundial en la producción de mineral de hierro, y además la segunda productora mundial de níquel. Con sucursales en 38 países de los cinco continentes, la compañía se desempeña también en los sectores de logística, que abarca vías férreas, terminales portuarias y navegación de cabotaje, energía y fertilizantes. Esa posición destacada se basa en grandes inversiones destinadas a tecnologías de punta y en investigación e innovación. Las demandas inmediatas de los clientes son contempladas en tres centros de investigación y desarrollo (I&D), dos de ellos en Brasil y uno en Canadá. Otras investigaciones, con perspectivas de largo plazo en diversas áreas, se realizan por medio del Instituto Tecnológico Vale (ITV), creado en 2009.

Los primeros debates con miras a la creación de un instituto sin fines de lucro comenzaron en 2007, pero el proyecto recién tomó cuerpo a finales de 2008, con la contratación de Luiz Eugênio Mello, un neurofisiólogo que en aquella época ejercía el cargo de prorrector de Grado en la Universidad Federal de São Paulo (Unifesp) y actualmente ocupa el cargo de director ejecutivo del ITV. "El año pasado Vale invirtió 1.700 millones de dólares en I&D. Tan sólo al ITV se destinaron casi 23 millones de reales", dice Mello, ex coordinador adjunto de la dirección científica de la FAPESP. En 2011, las utilidades netas de la minera fueron de 22.800 millones de dólares, con una evolución del 32% con relación a 2010.

Desde su creación, el ITV firmó 87 convenios de I&D y colaboró con 36 instituciones nacionales e internacionales, tales como Embrapa, el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y la Escuela Politécnica Federal de Lausana, en Suiza, entre otras. El instituto también mantiene convenios con la FAPESP y las fundaciones de apoyo a la investigación científica de Minas Gerais y de Pará, por valor de 120 millones de reales, destinados a proyectos de investigación en las áreas de minería, energía y ecoeficiencia.

Dos divisiones de investigación con distintos enfoques, Desarrollo Sostenible, en Belém, estado de Pará, y Minería, en Ouro Preto, Minas Gerais,

A partir de la izquierda, Regina Bronstein, Sandoval Carneiro, Roberto Dal'Agnol, Cláudia Diniz, Luiz Eugênio Mello, José Oswaldo Siqueira y Hugo Resende, todos ligados al Instituto Tecnológico Vale

MARCIO NUNES

se encargan de llevar adelante las investigaciones en las áreas de cambio climático, gestión de aguas, sostenibilidad en la industria minera, biodiversidad, energía y tecnología para el monitoreo ambiental, definidas como prioritarias en el marco de *workshops* realizados por Vale en 2010, que contaron con la participación de investigadores provenientes de diversas instituciones y áreas del conocimiento.

Al frente de la división ITV Desarrollo Sostenible desde noviembre de 2010, con el cargo de director científico, se encuentra Luiz Carlos de Lima Silveira, médico de carrera y neurocientífico. Actualmente, 33 investigadores con las más diversas formaciones conducen estudios en seis áreas: biodiversidad, con hincapié en microbiología del suelo y biotecnología de plantas; cambio climático; manejo de aguas; bioenergía y fotosíntesis; sostenibilidad en la minería, y monitoreo ambiental. Dos áreas, –arquitectura y urbanismo sostenible en la Amazonia y sostenómica, definida como la ciencia del desarrollo sostenible– incumben a las otras seis.

Silveira, creador del programa de posgrado en neurociencias y biología celular de la Universidad

Mina de Taquari, en Sergipe: explotación de potasio

Federal de Pará (Ufpa), evalúa su actual trabajo como una especie de continuidad de la vivencia académica. "En el transcurso de mi carrera como investigador adquirí experiencia administrativa mediante la implementación de dos grupos de investigación, uno en ciencias básicas y otro en neurociencia de medicina tropical", pondera. "Estas acreditaciones me condujeron a mi actual función", dice este graduado en medicina de la Ufpa, con maestría y doctorado en biofísica por la Universidad de Río de Janeiro (UFRJ) y posdoctorado en neurociencias por la Universidad de Oxford, en Inglaterra.

UN FENÓMENO URBANO

Según su criterio, la creación de un grupo de investigación en Brasil requiere de una serie de habilidades, en particular en la Amazonia, donde existen disparidades regionales y resulta necesario integrarse con el resto de Brasil. En el ITV de Belém, actualmente se están llevando a cabo más de 10 proyectos de investigación en colaboración con instituciones locales, tales como Ufpa y Embrapa Amazonia Oriental, e internacionales, tales como el Instituto de Biotecnología de Flandes, en Bélgica, y el Instituto Weizmann de Ciencias, de Israel.

La elección de Belém como uno de los ejes físicos de la red de investigación es estratégica. La capital del estado de Pará, estado donde Vale cuenta con grandes operaciones de extracción de hierro en Serra dos Carajás, cuenta con 2 millones de habitantes. Solamente las minas de Carajás aportan un 36% del mineral de hierro que Vale produce actualmente, que en 2011 llegó a 322,6 millones de toneladas. "Belém es una metrópolis ubicada geográfica y temporalmente sobre fuerzas que se equilibran en la frontera entre la Amazonia y el océano Atlántico, con una riqueza de biodiversidad que debe estudiarse", dice Silvera. Hay dos investigaciones bastante avanzadas, una sobre urbanismo, denominada proyecto Urbis, que se ocupa del fenómeno urbano en la Amazonia oriental, y otra abocada a los impactos climáticos de las operaciones de Vale.

El Urbis es coordinado por Ana Cláudia Cardoso en compañía del ingeniero espacial Antonio Miguel Monteiro, del Instituto de Investigaciones Espaciales (Inpe). "Nuestra idea consiste en trabajar una visión multidisciplinaria del fenómeno urbano de Pará", dice Cardoso, graduada en arquitectura y urbanismo en la Ufpa, con maestría en planificación urbana por la Universidad de Brasilia (UnB) y doctorado en arquitectura otorgado por la Universidad de Oxford Brookes, en Inglaterra. La propuesta consiste en comprender de qué modo las grandes actividades económicas, tales como la minería, la ganadería y la explotación maderera, están influyendo no sólo en la metrópolis, sino también en las ciudades medianas y en las pequeñas localidades situadas en las zonas de conversión de la selva, así como en los asentamientos ubicados al borde de las carreteras y a orillas de los ríos. En el proyecto participan economistas, urbanistas y ecólogos de instituciones tales como la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), la Universidad Estadual de Campinas (Unicamp), la Fundación Getúlio Vargas y otras, que analizarán mediante el empleo de herramientas específicas los patrones de ocupación del estado. "Los índices de migración de Pará son cuatro veces los del resto de Brasil en algunos municipios, debido a la dinámica de inversión de la propia Vale y también por la influencia agropecuaria", dice Cardoso.

El 36% del mineral de hierro producido por Vale se encuentra en Carajás, estado de Pará

En el grupo de investigación en cambios climáticos hay un físico y dos meteorólogos, coordinados por Luiz Gylvan Meira Filho, ex presidente de la Agencia Espacial Brasileña. Luís Antônio Lacerda Aímola forma parte de ese grupo desde que llegó proveniente de Israel, donde trabajaba como investigador en el área de cambio climático y modelado, directamente a Belém. Graduado en física egresado de la Unicamp, realizó su doctorado en ciencias ambientales en la Universidad de São Paulo (USP) y el posdoctorado en el Instituto Weizmann. "Lo que me atrajo fue la visión innovadora de una empresa para crear un centro de excelencia sostenible con la posibilidad de desarrollar investigación de largo plazo", comenta Aímola.

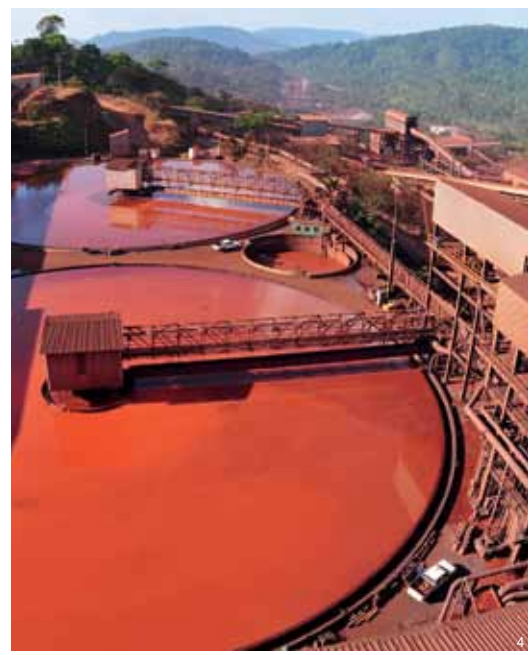
EVENTOS CLIMÁTICOS

Desde mayo del año pasado, él trabaja en un proyecto que intenta integrar los aspectos físicos – tales como posibles alteraciones en el régimen de precipitaciones en la región tropical, a causa del calentamiento global– con los económicos en el modulado climático. "De ocurrir modificaciones significativas, puede cambiar incluso la dinámica de la selva amazónica", dice. Como la minería depende de los regímenes de lluvias, las operaciones pueden perjudicarse a causa de eventos climáticos extremos. "Trabajo tanto en los aspectos físicos del clima como en los posibles impactos climáticos futuros para la economía de las regiones tropicales". Uno de los meteorólogos del grupo estudia los impactos de los cambios climáticos en las operaciones de Vale en la Amazonia oriental y otro elabora un modelo climático para la Amazonia.

La agricultura comienza con la minería. Las materias primas extraídas de las rocas constituyen la base de los fertilizantes

ITV Minería se encuentra en proceso de instalación en la ciudad de Ouro Preto, en Minas Gerais. Las áreas definidas como prioritarias son: infraestructura, metalurgia, procesamiento mineral, minería y explotación, prospección y geología y recursos hídricos. Uno de los proyectos, coordinado por el ingeniero agrónomo y profesor jubilado de la Universidad Federal de Lavras (Ufla), José Oswaldo Siqueira, contratado por el ITV hace un año, posee como tema la tecnología de producción de fertilizantes. "La agricultura comienza con la minería", afirma Siqueira. Las materias primas que se extraen de la roca constituyen la base para la producción de fertilizantes. "Nuestro gran reto consiste en captar la demanda de la agricultura y de la producción de alimentos y llevarla hacia dentro de una empresa minera", dice Siqueira, graduado en la Escuela Superior de Agricultura de Lavras, la actual Ufla, con maestría y doctorado por la Universidad de Florida y posdoctorado por la

Al lado y abajo, imágenes de computadora muestran los nuevos proyectos de extracción de mineral en Carajás. A la derecha, actual área de la extracción en la misma mina



FOTOS 1 Y 2 VALE 3 AGENCIA VALE 4 SALVIANO MACHADO/ VALE

Universidad de Míchigan, en Estados Unidos. Para ello hay que hallar nuevos procesos tecnológicos con miras a aumentar la eficiencia de extracción de materias primas y obtener productos con calidad y ambientalmente correctos.

"Casi toda la tecnología que se utiliza actualmente para la producción de fertilizantes se desarrolló entre 1950 y 1970", relata. El estancamiento se debe al escaso interés de los países desarrollados en las consecuencias de las políticas agrícolas y en el bajo precio histórico de esta *commodity* química. Pero este escenario se ha modificado en los últimos cinco años. Y la única perspectiva para Brasil consiste en aumentar la competencia tecnológica en toda la cadena de producción.

SALVIANO MACHADO/VALE

Playa de acopio del mineral de hierro en Carajás

LA FRONTERA MINERAL

"Se trata de una cuestión estratégica, ya que el país importa alrededor de las dos terceras partes de la cantidad de fertilizantes que consume". El fosfato, por ejemplo, resulta esencial para la producción agrícola en el trópico, pero las reservas de este mineral son extremadamente limitadas a nivel mundial. Vale ya produce fertilizantes tales como el fosfato y el potasio, pero su estrategia consiste en erigirse como una gran productora de materia prima para fertilizantes en escala global. Para ello ha realizado grandes inversiones en Brasil y en el exterior, como por ejemplo en África, Perú, Argentina y Canadá, mediante la adquisición de nuevos yacimientos y empresas. Más allá de la tecnología para producir fertilizantes, ITV Minería trabaja a la par con otras 11 líneas de investigación, entre las cuales se encuentra la frontera mineral del lecho oceánico. Las investigaciones se están llevando a cabo en forma conjunta con la Ufla, con la USP y con universidades tales como, por ejemplo, la de Queensland, en Australia.

Luego de 25 años en Embraer, el ingeniero aeronáutico Hugo Resende aceptó, en octubre del año pasado, la invitación para estructurar un área enfocada en la incubación de nuevos negocios con base tecnológica, ligada al ITV. "El desafío consiste en detectar oportunidades de *start-up* de nuevos negocios con base tecnológica a partir de investigaciones realizadas no sólo en el ITV, sino también en otros centros de investigación pertenecientes a Vale.", comenta Resende, graduado en el Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), con maestría y doctorado por la Universidad Stanford. En Embraer, se desempeñó en el desarrollo de aeronaves, de *software* aeronáuticos y como gerente de desarrollo tecnológico, hasta asumir el cargo de científico en jefe, responsable del establecimiento de

INSTITUCIONES QUE CAPACITARON A LOS INVESTIGADORES DE LA EMPRESA

LUIZ EUGÊNIO MELLO Médico, director ejecutivo del ITV	**Unifesp** Título de grado, maestría y doctorado **Universidad de California** Posdoctorado
LUIZ CARLOS DE LIMA SILVEIRA Médico, director científico de ITV Desarrollo Sostenible	**Ufpa** Título de grado **UFRJ** Maestría y doctorado **Universidad de Oxford** Posdoctorado
LUÍS ANTÔNIO LACERDA AÍMOLA Físico, investigador de ITV Desarrollo Sostenible	**Unicamp** Título de grado **USP** Doctorado **Instituto Weizmann de Ciencias de Israel** Posdoctorado
JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA Ingeniero agrónomo, investigador de ITV Minería	**Ufla** Título de grado **Universidad de Florida** Maestría y doctorado **Universidad de Michigan** posdoctorado
ANA CLÁUDIA CARDOSO Arquitecta, investigadora de ITV Desarrollo Sostenible	**Ufpa** Título de grado **UnB** Maestría **Universidad Oxford Brookes** Doctorado
STEPHEN POTTER Ingeniero de minas, director de Planificación Integral y Desarrollo Tecnológico	**Escuela Real de Minas en Londres** Título de grado y maestría
HUGO RESENDE Ingeniero aeronáutico, gerente de la incubadora	**ITA** Título de grado **Universidad Stanford** Maestría y doctorado
ROGÉRIO CARNEIRO Ingeniero metalúrgico, gerente general del CTF	**UFMG** Título de grado y maestría

asociaciones con universidades y de la detección de proyectos de interés para la empresa.

Aceptó la invitación de Vale como un nuevo desafío. "Era lo que le faltaba a mi trayectoria profesional. Identificar oportunidades para transformarlas efectivamente en negocios", dice quien ya ocupó algunos cargos en el directorio de la Asociación Nacional de Investigación y Desarrollo de Empresas Innovadoras (Anpei), entre los cuales ostentó la presidencia en 2006. Se espera que en 2013 la incubadora de nuevos negocios comience a funcionar. La actividad está contemplada dentro del modelo escogido como referencia en el proceso fundacional del ITV, que es el del MIT. "El MIT se enfoca en la transferencia de tecnología a las empresas y en la formación de emprendedores", dice Mello.

UNA RESPUESTA INMEDIATA

Tres grandes laboratorios son los responsables de encontrar las soluciones para las demandas tecnológicas que requieren respuestas inmediatas. El Centro de Desarrollo Mineral (CDM) y el Centro de Tecnología en Ferrosos (CTF) están instalados en Minas Gerais. El tercero, que se especializa en la tecnología del níquel y metales de base, se encuentra en Canadá. El CDM, fundado en 1965, es considerado el primer salto tecnológico de la empresa, merced al desarrollo de una tecnología propia de extracción de minerales con bajo tenor de hierro, en la misma década de 1960, lo cual permitió aumentar la vida útil de las minas de Vale. En tanto, el CTF, creado en 2007, desarrolla investigaciones en toda la cadena de utilización del mineral de hierro, desde la mina hasta el acero. "Trabajamos con la mira puesta en la industria siderúrgica", dice el ingeniero metalúrgico Rogério Carneiro, gerente general del CTF, graduado y con maestría en la UFMG. "Varios laboratorios y modelos matemáticos que simulan los procesos siderúrgicos permiten desarrollar soluciones para nuestros clientes", añade Carneiro, quien desde 2001 se desempeña en Vale. Previamente, trabajó durante 17 años en una industria siderúrgica brasileña, coordinando investigaciones enfocadas en el mineral de hierro, sinterizado y altos hornos. Dentro del total de 120 empleados y tercerizados del CTF, 30 son investigadores con maestría o doctorado, entre los cuales se cuentan ingenieros metalúrgicos, de minas y geólogos. En el centro, se pueden testear desde diferentes rutas de extracción hasta el comportamiento del mineral en las siderúrgicas. "En el CTF contamos con equipamientos que reproducen una siderúrgica", relata Carneiro.

Las tecnologías innovadoras aplicadas en la producción del mineral de hierro son lo que distinguen a Vale para garantizar su posición como líder en la escena mundial. Una de ellas es el transporte del mineral de hierro a través de una estructura compuesta por excavadoras y martillos neumáticos móviles, en lugar de los camiones, que forma parte del proyecto para Carajás denominado S11D. Éstos se ocuparán de la extracción y el transporte del mineral hasta la central de separación. "El procesamiento del mineral de hierro a partir de la humedad natural, sin agregado de agua, constituye otra tecnología que minimizará el impacto ambiental", dice el ingeniero de minas Stephen Potter, director de Planificación Integrada y Desarrollo Tecnológico de Vale, graduado en la Escuela Real de Minas en Londres, donde también hizo maestría. "Más allá de la reducción en el consumo de agua, permitirá recuperar el material explotado en la mina", dice Potter, de nacionalidad inglesa, quien trabaja desde hace 20 años en minería y desde 2009 lo hace en Vale. Las partículas más finas, eliminadas en el proceso convencional, se mezclarán con el producto final. Tampoco habrá necesidad de descartar los residuos del proceso en un vertedero construido para esa finalidad, tal como se hace actualmente. "Habrá un menor impacto ambiental al evitar la circulación de los camiones cargados". Vale obtuvo recientemente la licencia ambiental provisoria para la implementación del proyecto. ■

Experimentos en el Centro de Desarrollo Mineral, en Minas Gerais

Un cañamelar más limpio

Las emisiones del peor gas causante del efecto invernadero que salen de la caña de azúcar son menores que las estimadas

Yuri Vasconcelos

PUBLICADO EN SEPTIEMBRE DE 2012

Las emisiones directas de gases causantes de efecto invernadero en las plantaciones de caña de azúcar son muy inferiores a las estimadas en la literatura científica internacional. Éste es el principal resultado de un estudio de campo llevado a cabo por un grupo de científicos de diferentes universidades y centros de investigación brasileños en cañamelares paulistas. El objetivo de dicho trabajo, que se publicó en el periódico *Global Change Biology Bioenergy*, fue la emisión de óxido nitroso (N_2O), considerado como el más nocivo gas de efecto invernadero, casi 300 veces más perjudicial para el medio ambiente que el dióxido de carbono (CO_2) y de gran persistencia en la atmósfera. La fuente de generación de óxido nitroso en los cañamelares son los fertilizantes nitrogenados que utilizan los agricultores para que la planta crezca. Los resultados obtenidos por los investigadores son importantes porque, en el caso de que las emisiones de óxido nitroso fuesen muy elevadas, se cuestionarían los beneficios ambientales del etanol elaborado a partir de la caña. Brasil es el mayor productor mundial de esta planta, con un volumen anual de 596 millones de toneladas.

"El objetivo de nuestro trabajo se trazó en función de una publicación de 2008 del científico holandés Paul Crutzen, premio Nobel de Química en 1995, en la que afirma que los factores de emisión de óxido nitroso en los cultivos destinados a la producción de biocombustibles serían superiores a un 3%, pudiendo alcanzar un 5%, con lo cual afectarían directamente al clima del planeta", dice la ingeniera agrónoma Janaína Braga do Carmo, coordinadora de la investigación y docente del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar), en Sorocaba, interior paulista. Otro pronóstico, emitido por expertos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, según su sigla en inglés), señalaba un factor de emisión más bajo, del orden del 1%.

"Nuestro estudio fue el primero que se realizó a partir de mediciones en campo, no amparado en modelos matemáticos o estimaciones indirectas, y demostró que las emisiones de óxido nitroso en los cañamelares paulistas están más próximas a los cálculos del IPCC, es decir, en un nivel bastante inferior al pronosticado por Crutzen", dice Braga, destacando que el estudio del premio Nobel no se refería tan sólo al etanol que se produce en Brasil, sino a un enfoque global de la producción mundial del combustible, que incluye al etanol de maíz y otros cultivos. El factor de emisión es una medida que expresa el porcentaje de nitrógeno emitido hacia la atmósfera bajo la forma de óxido nitroso en relación con la cantidad de nitrógeno agregado al suelo por medio de fertilizantes nitrogenados. El óxido nitroso es liberado en el aire por los microorganismos presentes en el suelo mediante dos procesos a los que se conoce como nitrificación y desnitrificación.

La investigación reveló que el factor de emisión en las plantaciones que solamente recibieron fertilizantes nitrogenados es del 0,68%, es decir, que por cada 100 kilogramos de nitrógeno que se utilizan para abonar los cultivos, 680 gramos se transforman en óxido nitroso y se "vuelcan" a la atmósfera. Pero ese valor crece hasta un 3% en las áreas donde también se utiliza vinaza como fertilizante y se acumulan grandes cantidades de paja en el suelo luego de la cosecha. La vinaza, un residuo de la producción sucroalcoholera, es muy empleada como fertilizante en los cañamelares, dados sus altos tenores de potasio, mientras que la paja forma

FOTO LÉO RAMOS **INFOGRAFÍA** ANA PAULA CAMPOS

Sube y baja

Factores de emisión y consumo de carbono y otros gases de efecto invernadero en las plantaciones de caña de azúcar

FACTORES DE EMISIÓN

RESPIRACIÓN

Con liberación de CO_2 y consumo de oxígeno (O_2) por intermedio de las hojas

RESPIRACIÓN DEL SUELO

Raíz y microorganismos que liberan carbono (CO_2)

DESNITRIFICACIÓN

Es el proceso de transformación del fertilizante nitrogenado (NO_3-Nitrato) en óxido nitroso (N_2O)

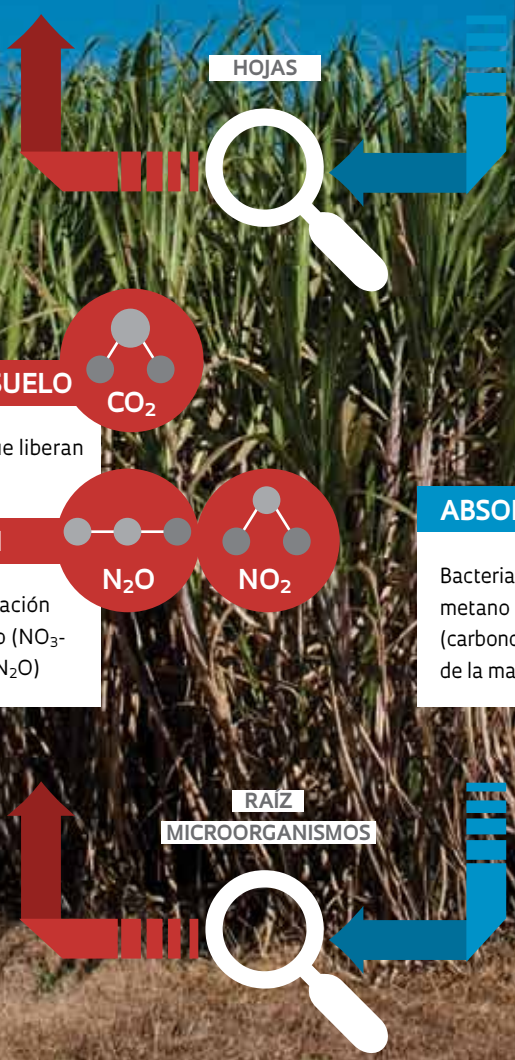
FACTORES DE CONSUMO

FOTOSÍNTESIS

Con absorción de dióxido de carbono (CO2) por intermedio de las hojas

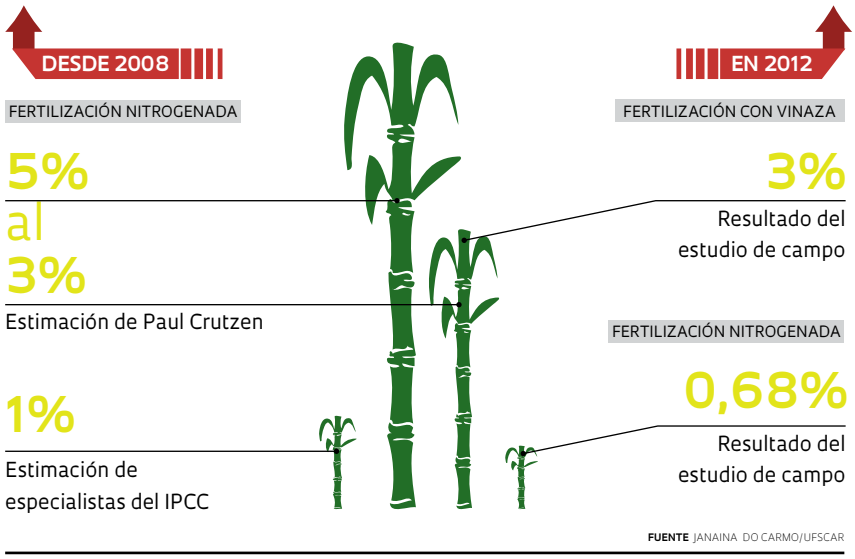
ABSORCIÓN DE METANO

Bacterias que consumen y oxidan el metano (CH_4) para obtener energía (carbono) durante la descomposición de la materia orgánica



Impacto menor en la atmósfera

Las diferencias de emisiones entre lo estimado y el estudio de campo



FUENTE JANAINA DO CARMO/UFSCAR

una capa protectora que reduce la erosión y la pérdida de agua en el suelo. "Nuestro estudio revela que necesitamos desarrollar métodos de manejo destinados a disminuir las emisiones asociadas con el uso de la vinaza y la paja", dice Braga do Carmo.

UN TRATAMIENTO DIFERENTE

El trabajo coordinado por Braga integra el Programa FAPESP de Investigaciones en Bioenergía (Bioen) y contó con la participación de investigadores de la Universidad de Maryland, Estados Unidos, del Instituto Agronómico (IAC), del Centro de Tecnología Cañera (CTC), del Centro de Energía Nuclear en la Agricultura de la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) y de la Agencia Paulista de Tecnología.

En total, los investigadores contabilizaron las emisiones de gases con efecto invernadero para ocho diferentes formas de tratamiento de los cañaverales, cada uno con un tipo de abono diferente. En el municipio de Jaiú, ubicado a 300 kilómetros de la capital paulista, los experimentos se realizaron en plantaciones de caña planta, el nombre dado a la primera zafra del plantío, cuando se realiza la preparación del suelo para la apertura de los surcos donde se colocarán los culmos, un tipo de tallo de la caña. En la caña planta, normalmente, el agricultor agrega 60 kilogramos de nitrógeno, en forma de urea, por hectárea. En Piracicaba, a 165 kilómetros de São Paulo, el objetivo fueron los cultivos de caña soca –la fase posterior al primer corte de la planta–, cuando no se necesita preparar el suelo y se aplican entre 100 y 150 kilogramos de fertilizante nitrogenado por hectárea, normalmente sulfato de amonio o nitrato de amonio. En Jaiú, además de la urea, los sembrados recibieron vinaza, torta de filtro –un residuo de la industria cañera compuesto por bagazo molido y lodo– o ambos, simultáneamente; en Piracicaba se estudió el efecto de la paja en el suelo. Los cuatro tratamientos que se estudiaron en ese municipio recibieron cantidades diferentes de paja, con 0, 7, 14 y 21 toneladas por hectárea y, en cada uno, se constató el nivel de emisión con y sin aplicación de vinaza.

"Nuestros cálculos indican que el valor más alto del factor de emisión de N_2O entre todos los experimentos y tratamientos (un 3,03%) se detectó en los cultivos de caña soca (Piracicaba) tratada con vinaza y conteniendo mayor cantidad de paja en la superficie del suelo, esto es, 21 toneladas por hectárea", según marca el estudio. "En el caso de la caña planta, los tratamientos con vinaza con agregado de fertilizante sintético registraron el factor de emisión más elevado (un 2,65%). Sin aporte de vinaza, el valor cae a un 1,1%". El menor factor de emisión, de un 0,68%, se detectó en el experimento con caña soca, cuando no se utiliza paja, ni vinaza, ni torta de filtro y se la abona solamente con el fertilizante nitrogenado. "Nuestro trabajo reveló que, mediante ese tipo de tratamiento, las emisiones de óxido nitroso son pequeñas. Si las estimaciones previstas en la literatura fueran ciertas, el daño ambiental provocado por el óxido nitroso no sería compensado por el consumo de carbono causado por la fotosíntesis ni por la elevada eficiencia de la caña", dice Braga. Más allá de evaluar el factor de emisión de N_2O, los investigadores también calcularon las emisiones totales de tres de los principales gases de efecto invernadero: óxido nitroso, dióxido de carbono y metano. Para comparar el efecto de esas emisiones entre cada experimento y los diversos tratamientos, ellos convirtieron las emisiones de esos tres gases en equivalentes de CO_2, que es una medida que se utiliza para cotejar las emisiones de varios gases con efecto invernadero que se basa en el potencial de calentamiento global de cada uno: el del óxido nitroso, por ejemplo, es 296 veces mayor que el del dióxido de carbono. El CO_2 equivalente de una determinada fuente emisora, por lo tanto, es el resultado de la multiplicación de las toneladas de gases con efecto invernadero emitidas (GEE).

En las dos plantaciones, caña planta y caña soca, los valores más altos de CO_2 equivalente se asociaron al uso de vinaza. En el caso de la caña planta, los niveles críticos de emisión de CO_2 equivalente (1.380 kilogramos por hectárea anuales) se alcanzaron cuando se utilizó urea, torta de filtro y vinaza. Para la caña soca, el peor escenario fue aquél en que se utilizó vinaza y 21 toneladas de paja acumulada en el suelo por hectárea. En este caso, se generan 3 mil kilogramos de CO_2 equivalente por hectárea y por año. ■

Los proyectos

1. N_2O, CO_2 y CH_4 Emissions from agro-biofuel production in São Paulo State, Brazil – nº 2008/55989-9; **2.** Nitrogen nutrition of sugarcane with fertilizers or diazotrophic bacteria – nº 2008/56147-1. **Modalidad 1.** Proyecto Joven Investigador del Programa FAPESP de Investigaciones en Bioenergía (Bioen); **2.** Proyecto Temático del Bioen. **Coordinadores 1.** Janaina Braga do Carmo – UFSCar; **2.** Heitor Cantarella – IAC. **Inversión 1.** R$ 237.330,83 y US$ 67.054,00 (FAPESP); **2.** R$ 957.280,37 y US$ 75.853,15 (FAPESP)

Artículo científico

CARMO, J.B. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. **Global Change Biology Bioenergy**. Online, 26 jul. 2012.

El valor de las impurezas

Brasileños descubren una nueva familia de metales capaces de conducir electricidad sin pérdida de energía

Igor Zolnerkevic

PUBLICADO EN SEPTIEMBRE DE 2012

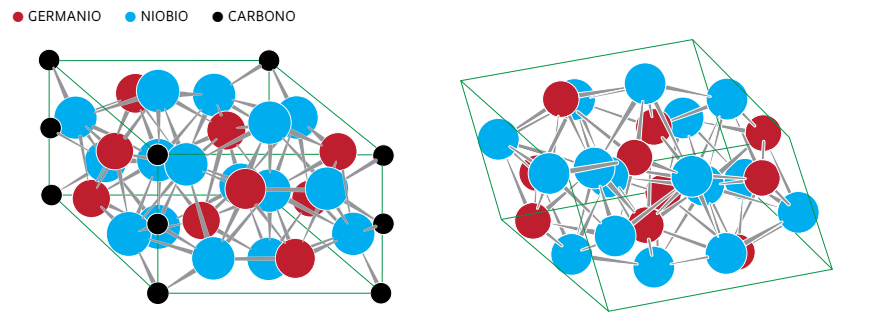
Los ingenieros de materiales Antonio Jefferson Machado y Carlos Alberto Moreira dos Santos, ambos de la Escuela de Ingeniería de Lorena, dependiente de la Universidad de São Paulo (USP), modificaron radicalmente las propiedades eléctricas de un compuesto metálico al agregar, entre los átomos que forman su red cristalina, átomos de elementos químicos más livianos tales como boro, carbono y nitrógeno. Mediante esta técnica, conocida como dopaje intersticial, han creado a partir de 2003 casi 30 nuevos materiales superconductores de la electricidad.

El descubrimiento del más prometedor de esos superconductores se anunció en junio de este año en un artículo publicado en el *Journal of Applied Physics*. En él, los investigadores de Lorena, en colaboración con el ingeniero de materiales Ausdinir Bortolozo, de la Universidad Federal de Itajubá, y los físicos Renato Jardim, de la USP, y Flávio Gandra, de la Universidad Estadual de Campinas, describen qué sucede cuando se agrega una pizca de átomos de carbono durante el proceso de fabricación de un compuesto metálico muy conocido, elaborado con niobio y germanio, el Nb5Ge3, que desde 1977 poco interesaba a la ciencia de los materiales porque se transformaba en superconductor a una temperatura extremadamente baja, inferior a -272 grados Celsius (ºC). "El comportamiento eléctrico del material dopado cambió por completo", informa Machado, quien ya cuenta con resultados preliminares de otros dopajes exitosos del Nb_5Ge_3, utilizando otros seis elementos químicos.

El material dopado con carbono es superconductor a una temperatura de -258ºC, la más alta obtenida por los brasileños y que se considera interesante para la industria. A pesar de ser gélida, esta temperatura se ubica 11 grados por encima del punto de ebullición del helio líquido (-269,15ºC), que normalmente se utiliza para refrigerar los metales superconductores en sus aplicaciones tecnológicas, por ejemplo, en los equipamientos que realizan imágenes por resonancia magnética.

MOLÉCULAS TRANSFORMADAS

Un superconductor a la brasileña: el compuesto a base de germanio (*en rojo*) y niobio (*en azul*) comienza a conducir electricidad sin resistencia al incorporar átomos de carbono (*en negro*)



NULA RESISTENCIA

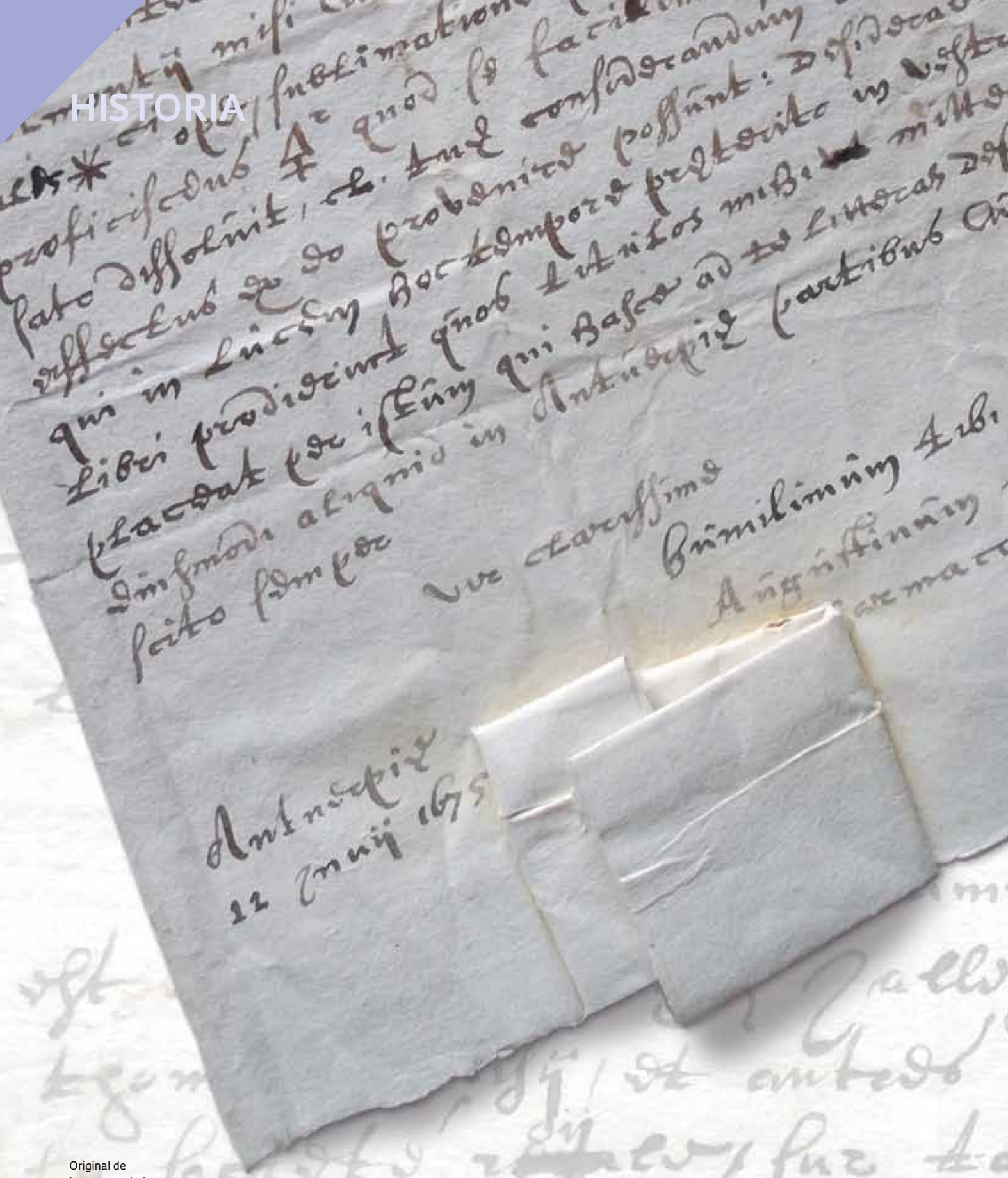
Un material superconductor es aquél en el que la resistencia eléctrica desaparece por debajo de cierta temperatura. Eso significa que una corriente eléctrica puede fluir por el material sin perder energía disipando calor. La superconductividad fue observada el físico holandés Heike Onnes, por primera vez, en 1911, y desde entonces se han descubierto varios materiales superconductores, la mayoría de ellos metálicos, que funcionan a temperaturas bajísimas, de pocas decenas de grados por encima del cero absoluto (-273,15ºC).

Pese a ser relativamente alta, la temperatura alcanzada por los brasileños no llega cerca del récord mundial, establecido para otra clase de materiales, basados en óxidos de cobre, que surgió en los laboratorios a partir de 1987, con temperaturas superconductoras superiores a -196ºC. Esos materiales de naturaleza cerámica, sin embargo, son quebradizos y heterogéneos, lo cual impide su producción en gran escala. Por eso, todavía se busca un material superconductor a temperaturas más altas, aunque maleable y homogéneo como los metales.

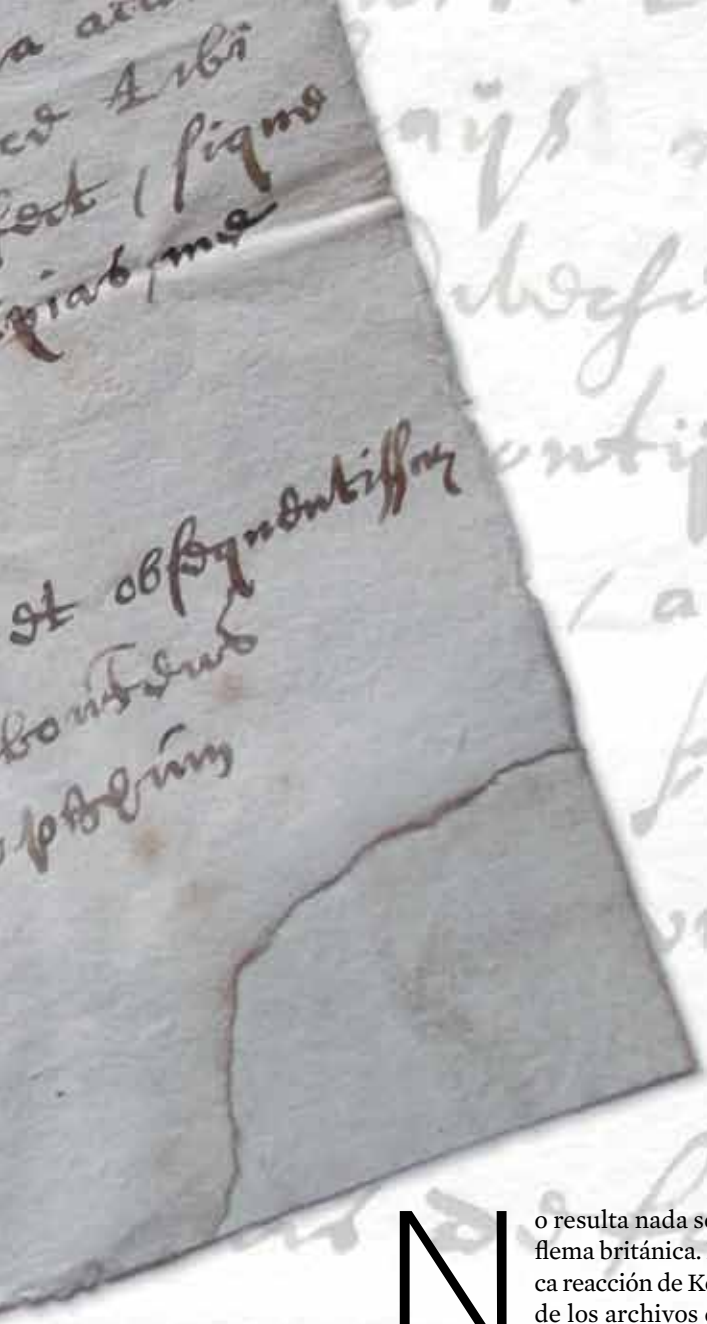
Según el físico Zachary Fisk, de la Universidad de California, en Irvine, el descubrimiento de los brasileños abre la posibilidad de utilizar un dopaje intersticial para buscar las tan soñadas aleaciones metálicas superconductoras a temperaturas más altas. "Es un desarrollo que entusiasma", comenta. ■

Artículo científico

BORTOLOZO, A. D. et al. Interstitial doping induced superconductivity at 15.3K in Nb5Ge3 compound. **Journal of Applied Physics**. 2012.



Original de la carta enviada por Boutens a Oldenburg que muestra el pequeño sobre cerrado



Una incómoda pizca de magia

Investigadoras brasileñas descubren polvo alquímico en un archivo de la Royal Society, la sede de la revolución científica

Carlos Haag, desde Londres

PUBLICADO EN SEPTIEMBRE DE 2012

No resulta nada sencillo perturbar la flema británica. De allí la sintomática reacción de Keith Moore, director de los archivos de la Royal Society, al preguntársele sobre la importancia del hallazgo de las investigadoras Ana Maria Goldfarb y Márcia Ferraz, del Centro Simão Mathias de la Pontificia Universidad Católica de São Paulo (Cesima PUC-SP). Con el entrecejo arqueado y cauteloso, Moore respondió: "Se encontraba delante de nuestras narices, pero en 350 años nadie había encontrado eso".

Se trata de una pizca de un polvo amarillento y de olor penetrante envuelto en un pequeño sobre pegado a una carta con fecha de 1675 remitida al primer secretario de la Royal Society, Henri Oldenburg (1517-1677), proveniente de Antuerpia [Amberes, en la actual Bélgica] y enviada por un boticario y alquimista llamado Augustin Boutens. Aunque no llame la atención, se trata de una concreta y valiosa muestra del *alkahest*, el célebre solvente universal, que fuera objeto de búsquedas que movilizaron a generaciones de alquimistas e incluso a filósofos naturales tales como Robert Boyle e Isaac Newton.

Luego de revelar, en 2010, en el marco de un Proyecto Temático apoyado por la FAPESP, la única fórmula completa del *alkahest*, de 1661, el dúo ha encontrado ahora, según afirma, "la primera muestra real de *Ludus* compuesto, un *alkahest*, de la que se posea noticia desde el siglo XVII". Pero, ¿qué es ese polvo?

Lógicamente, la Royal Society desea que la muestra sea analizada por uno de sus *fellows*, probablemente Martyn Poliakoff, vicepresidente de la institución. "Pese a la curiosidad personal, como investigadoras en historia de la ciencia, no pretendemos llevarla al laboratorio para intentar saber de qué se trata el polvo en cuestión según los moldes actuales", comenta Ferraz. "Lo que importa es el descubrimiento de otra fuerte evidencia de que una buena parte de las ciencias antiguas, como es el caso de la alquimia, subsiste incluso luego del surgimiento de una nueva visión de la ciencia (y algunas de ellas hasta tomaron parte en su propia formación), manteniéndose en la agenda de las figuras que supuestamente promovieron la revolución científica que dio origen a la química moderna. Hay una historia

FOTOS JOANNA HOPKINS/ROYAL SOCIETY

La paradoja de la revolución lenta

Varias corrientes convergieron en el surgimiento de la ciencia moderna, fruto de un lento derrotero que recién se completó en el siglo XIX

Lavoisier
Visto como la cima de la nueva ciencia, fue el resultado de un largo proceso y de múltiples concepciones, que convergieron en el laboratorio moderno y estándar

SIGLO XVIII

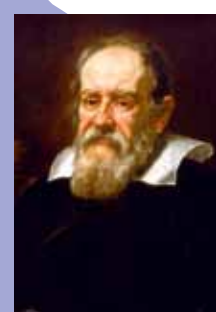
Isaac Newton
Exponente de la razón, era un filósofo natural que unificó como pocos la racionalidad con las creencias herméticas

SIGLO XVI-XVII

Robert Boyle
Un hermético convertido en mecanicista que abrió un espacio en la división entre ambas concepciones

Herméticos
Grupo heterogéneo de filósofos de la naturaleza, integrado por alquimistas y neoplatonistas cuya concepción del mundo incluía a la magia y el encantamiento

En común
Antiaristotélicos; experimentación y observación de la naturaleza; la ciencia y la religión se apoyaban una en otra; conocimientos prácticos



Mecanicistas
División entre el mundo inanimado y la materia viva

Aristotelismo

ANTIGÜEDAD

poco conocida que cuenta que ese proceso ocurrió en forma paulatina y coherente y recién culminó en el siglo XIX", afirma Goldfarb.

Sobre todo, confirma el credo de las investigadoras, que sostiene que hacer historia de la ciencia es arremangarse y afrontar el tapiz de polvo de los documentos originales para darles nueva vida. Prueba de ello, para sorpresa de Moore, es que el documento pasó por las manos de la historiadora Marie Boas, encargada, en los años 1960, de catalogar la correspondencia de Oldenburg, durante 15 años, el "factótum" de la Royal Society. Al frente del pequeño sobre, Boas solamente anotó: "Muestra de lo que parece ser pirita, anexada al texto".

"La obra de Boas es impecable; no obstante, al pensar como muchos de su época, ignoró posibles intereses alquímicos de los 'nuevos científicos' y, así, terminó por no investigar el carácter hermético de las cartas de Oldenburg, lo cual incluía, a veces, las 'limpiezas' del pasado e intervenciones poco recomendables", evalúa Goldfarb. "Este hallazgo amplifica la visión que apunta que la filosofía química no feneció con el triunfo de la visión mecánica y corpuscular. El hecho de saber que aún se buscaban materiales tales como el *Ludus* y el *alkahest* lo comprueba e incluye otros nombres importantes en la lista de los que llevaban a cabo esas búsquedas, incluso algunos a los que se consideraba convertidos al racionalismo y, más todavía, al mecanicismo del siglo XVII", explica Pyio Rattansi, profesor emérito del University College London, quien reveló la importancia del hermetismo y de la Biblia en las obras científicas de Newton, hasta entonces visto como el "santo patrono" de la ciencia moderna. "Aparte de él, otros 'hombres razonables' poseían 'segundas agendas' que discretamente contenían procesos alquímicos", comenta Goldfarb.

Esta revisión de la historia de la ciencia recién afloró cuando las investigadoras, a pesar del "canto de sirena" de la tecnología, observaron la limitación de los catálogos digitales y se enfrascaron directamente en las "fondos cerrados" del archivo, afrontando la incredulidad inicial de los ingleses. "Teníamos claro que era preciso comprender el pensamiento de los hombres de ciencia de aquella época. Había una especie de dualidad frente a cualquier hecho nuevo: por

FOTOS REPRODUCCIÓN

una parte, necesitábamos ser sigilosas, pues, especialmente cuando se trataba de materiales o procesos de laboratorio, muchos eran verdaderos secretos de Estado. Por otra parte, estaba una de las máximas (que, por cierto, se mantiene hasta hoy) de la nueva ciencia, que avalaba el saber elaborado por muchos y al alcance de todos", añade Goldfarb. "Muchos se frotan las manos por hacerse de ese conocimiento y quién sabe qué harán para verlo publicado" escribió Newton a Oldenburg en 1676. Los meandros "rocambolescos" que tuvieron que atravesar las investigadoras para hallar la fórmula del *alkahest* conforman el fruto de esa visión.

"Luego de los descubrimientos iniciales de documentación, consideramos que todo lo relacionado con el *alkahest* en la Royal Society estaba claro y a la vista", comenta Ferraz. Incluso encontraron la misteriosa carta de Boutens a Oldenburg. "Han pasado años desde que le envié a usted una buena cantidad del *Ludus helmontiano*, a partir del cual he elaborado el material sulfuroso que le adoso debajo. Confío en su sabiduría para comprender los efectos que produce". La referencia al mineral arcilloso llamó la atención de Goldfarb y Ferraz. Al fin y al cabo, el *Ludus* era la base de una receta del *liquour alkahest*, producida por el médico belga Van Helmont (1579-1644), quien dedicó su vida a estudiar los oscuros trabajos de Paracelso para producir lo que sería el "remedio para todas las enfermedades". Con la capacidad de disolver cualquier sustancia sin dejar residuos, reduciéndola a sus componentes primarios, el *alkahest* sería la fuente de poderosos remedios, en especial, contra los "males de la piedra", la litiasis renal, las "piedras en los riñones", causa incurable de muchas muertes hasta el siglo XIX.

Según Van Helmont, era posible, por ejemplo, elaborar un remedio contra el cálculo urinario mediante la disolución del *Ludus* con el *alkahest*. No tanto por el mineral, sino por la capacidad del *alkahest* para transformarlo en fuente de cura. Todo era el fruto de un pensamiento milenarista: el solvente sería un regalo de Dios cuando el mundo se acercara a su fin", explica el historiador Paulo Porto, docente del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo (USP). El *Ludus* funcionaría como la cápsula plástica que, actualmente, envuelve a los comprimidos, permitiendo una difusión gradual del medicamento en el organismo. El dilema de los alquimistas consistía precisamente en asegurarse que el solvente del *alkahest* actuase poco a poco, para no matar al paciente al intentar curarlo. "Desde la década de 1640, el objetivo central de la ciencia inglesa era prolongar la vida de la gente y el *alkahest* preparado con *Ludus helmontiano* sería el remedio para ello", dice Porto. Para muchos contemporáneos, el rey Charles II fundó la Royal Society, fundamentalmente, para congregar a los mayores cerebros de la época con el fin de que produjeran "el gran remedio".

Henri Oldenburg: el secretario de la Royal Society centralizaba toda la información para la Institución y fue uno de los pioneros de los estándares científicos

Las investigadoras observaron lo limitado de los catálogos digitales y se abocaron al estudio de los archivos secretos a pesar de la incredulidad inicial de los ingleses

Por eso, la carta despertó sospechas en las investigadoras. "¿Cómo entender que luego de buscar durante años ese 'gran remedio' no hubiera registros en las actas de la Royal Society de la recepción de una muestra de su componente? Todo indicaba que nos hallábamos frente a un 'secreto' valioso para los *fellows* de la institución", dice Ferraz. Era necesario, entonces, comprender mejor la relación de Oldenburg y Boutens. La primera pista fue una carta fechada en septiembre de 1667, escrita para Boyle luego de que el secretario saliera de prisión, pues había sido encarcelado debido a sus contactos "excesivos" con el exterior. Enseguida se descubrió que la intensa correspondencia formaba parte de su trabajo. Oldenburg intercambiaba cartas con quien pudiera poseer o conocer algún secreto sobre el "Arte". Varios espías que diseminó por Europa lo informaban sobre cualquier experimento.

Sintomáticamente, la carta remitida a Boyle fue lo primero que hizo luego

1

2

1 Salón de investigaciones de la Royal Society, con las investigadoras brasileñas sentadas

2 Interior de los archivos de la institución

3 Decreto de creación de la Royal Society con la efigie del rey Charles II

de salir de prisión. "Usted menciona un paquete, que, según creo, estaba dirigido a mí. Es *Ludus* de Antuerpia. Puede examinarlo y después enviármelo, junto con su parecer que indique si se trata del *Ludus* genuino". Varias cartas posteriores, con el mismo tono de súplica humilde, no fueron suficientes para que Boyle atendiera su pedido y Oldenburg jamás puso sus manos en la valiosa caja. Los archivos revelaron poco a poco el vínculo entre el secretario y Boutens, el alquimista de Antuerpia. En noviembre de 1667, Oldenburg escribió al alquimista: "Supe por intermedio de un amigo en París (*sin duda uno de sus espías*) de su gran predisposición hacia la curiosidad y su especial inclinación por la sólida filosofía que se basa en la observación y los experimentos que estamos intentando establecer aquí en la Royal Society. También me informaron de sus infatigables intentos por descubrir los secretos de la naturaleza por el buen camino de la química"

Y la seducción epistolar continúa. "Me agradaría que usted supiese cuánto los ingleses admiran las operaciones químicas realizadas por hombres de buen juicio que están libres de los prejuicios vulgares impuestos en el mundo por alguna gente que pretende hablar dogmáticamente sin ninguna experiencia crítica preliminar, como el excelente señor Boyle creyó necesario hacer en su *Sceptical chymist (1661)*", prosigue. "Sabemos que existe *Ludus helmontiano* en abundancia en su región: le pido fervientemente que nos lo envíe por mar a Londres". En diciembre llegó la respuesta de Boutens: "Le enviaré más de 70 kilogramos del *Ludus* con la descripción del método que utilizo para elaborar el remedio". El pago de la empobrecida Royal Society se realizó en libros, codiciados por los alquimistas. La carta fue recibida con gran entusiasmo por los miembros de la Royal Society, así como otra carta escrita por Boutens algunos meses después, describiendo los sitios en donde podía hallarse el *Ludus*. Esa correspondencia, sin embargo, no tuvo continuidad y recién en junio de 1675 aparece una nueva carta de Boutens, justamente, aquélla que tiene adosada la muestra del "polvo ultrasecreto".

No obstante, Oldenburg no respondió la misiva. De entrada, las investigadoras atribuyeron la actitud nada típica del secretario al exceso de trabajo. Pero luego descubrieron otra razón. Francis Mercurius, hijo de Van Helmont, se hallaba en ese entonces en Inglaterra y, se sabía, tenía conocimiento de muchos de los secretos de su padre, llevando consigo incluso muestras de sus materiales. Junior, tal como se lo conocía, se conectó rápidamente con los grandes estudiosos ingleses. Por intermedio de Henri More, se convirtió en mentor de lady Anne Conway, víctima de terribles jaquecas que el mismísimo Harvey no lograba curar. El entorno de Conway incluía, además de a More y Ralph Cudworth, líderes de los Platonistas de Cambridge, al experimentado hombre de laboratorio Ezekiel Foxtrot, amigo y colaborador de Newton. "Lo que los unía era la preocupación por el escepticismo radical de la época, que intentaron combatir mediante la aceptación 'racional' de profecías bíblicas mezcladas con conocimientos milenaristas. Para justificar el nuevo universo científico escéptico, asumieron el ideal de que vivían tiempos tales como los descritos en los libros de *Daniel* y de la *Revelación*", sostiene Rattansi. Según el libro de *Daniel*, el conocimiento aumentaría a medida que la humanidad se aproximase a su fin. Ésa era la realidad cotidiana en el siglo XVII,

Según Rattansi, los hallazgos obligan a una revisión de los orígenes intelectuales de la ciencia de los siglos XVI y XVII

presente en el diálogo de Junior y Lady Conway, quienes terminaron convirtiéndose a la secta de los cuáqueros, notorios milenaristas adeptos a esas ideas.

Junior llevó a Inglaterra muestras de los materiales ultrasecretos de su padre, entre ellos, porciones del preciado *Ludus*. Uno de ellos se lo confió a Foxtrot, quien se lo remitió a Newton, y éste se lo entregó al naturalista John Woodward. "Newton me dio un trozo del material que trajo de Alemania el joven Helmont como el verdadero *Ludus* de su padre, que, en mi opinión, no se diferencia del hallado aquí mismo en Inglaterra", anotó descreído. El interés de Newton en el *alkahest* y otros materiales similares, tales como el *alkaheste*, era profundo y eso ahora queda manifiesto. ¿Y la caja remitida a Oldenburg años antes? "Boyle se la guardó y se la entregó a Locke, uno de sus colaboradores favoritos en el laboratorio, para que éste la analizase", comenta Goldfarb.

"Estas revelaciones amplían el espectro del complejo vínculo del círculo inglés con la ciencia naciente, y debates como aquél entre empiristas y racionalistas comienzan a perder sentido", considera Rattansi. Según el profesor, los hallazgos obligan a efectuar una revisión de los orígenes intelectuales de la ciencia de los siglos XVI y XVII. "La ciencia aristotélica se hallaba desacreditada por su esterilidad. Se produjo entonces una escisión entre la 'filosofía mecanicista', basada en Galileo y Descartes, y grupos heterogéneos de 'filósofos de la naturaleza', especialmente neoplatonistas y herméticos. Las diferencias entre los grupos no eran tan acentuadas: eran antiaristotélicos; defendían la observación, la experimentación y la experiencia en detrimento de la razón abstracta; preconizaban que la ciencia y la religión se apoyaban una en otra; ambos soñaban con elevar y difundir el conocimiento sobre la naturaleza con fines prácticos", analiza el profesor.

Pero mientras que un grupo entendía que detrás de todos los cambios en la naturaleza residía un mecanismo de la materia en movimiento, los otros tomaban esas alteraciones como un juego entre simpatías y antipatías secretas, actuando a distancia. "Para los mecani-

1 Fachada de la Royal Society, en Londres

2 *Hall* del segundo piso con la puerta de la biblioteca

3 Sello de la institución con la frase *Nullius in verba*: no se confía únicamente en las palabras, sino también en los experimentos

cistas, había una división entre el mundo inanimado de la materia y aquél del alma y de la inteligencia. En tanto, los herméticos sostenían que todo poseía vida y entendimiento. En resumen: las creencias se dividían entre los que tenían una cosmovisión mágica y encantada, plagada de acontecimientos prodigiosos, y los mecanicistas, que optaron por la visión de un mundo sobrio, desencantado y preocupado fundamentalmente por el devenir cotidiano de la naturaleza", explica Rattansi.

Poco antes de la Revolución Gloriosa, la ciencia hermética se afianza en Inglaterra, porque contenía el ideal de una nueva filosofía natural como parte de un gran proyecto reformista, lo cual explica la inicial armonía entre ciertas corrientes poderosas de la revolución y los herméticos, y los puritanos en parte fueron responsables de la difusión de esa visión encantada y reformadora. En tiempos de guerra, hambre y miseria, una corriente que promovía la realización de acciones tendientes a mejorar la vida cotidiana, la agricultura, la educación y la salud de todos, contaba con gran apoyo popular. Pero enseguida algunos grupos comenzaron a concebir reformas intensas, tal como sucedió con Samuel Hartlib y su Colegio Invisible, basado en las máximas del checo Jan Comenius, que fue invitado a visitar Inglaterra, donde escribió extensamente sobre educación con ideas que combinaban alquimia y filosofía natural. Entre las propuestas se hallaba la creación de universidades en todas las ciudades. Incluso Boyle y otros que fundarían la Royal Society, entusiastas de la causa de Comenius, comenzaron a temer por el orden y la estabilidad en medio de ese clima de sectarismo.

Inglaterra fue invadida entonces por las nuevas doctrinas "sobrias" de Descartes y Gassendi, con una notable cantidad de conversiones a la ciencia mecanicista, que comenzó a ser apreciada como la más apropiada, una gran síntesis entre la teología y la filosofía natural: si el Universo era como una máquina, la doctrina apunta hacia su creador. "En la Inglaterra del siglo XVII era usual el estudio de la filosofía natural armonizado con la concepción mística y teológica del mundo. Por eso la reverencia de Newton, aunque no solamente de él, tal como ahora lo sabemos, ante la *prisca sapientia*, el conocimiento de los clásicos que él y otros consideraban que eran verdades reveladas por Dios a los primeros habitantes de la Tierra", dice Rattansi.

De este modo, continúa el profesor, los hallazgos de las investigadoras refuerzan esa perspectiva revisionista de la revolución científica, ya que, incluso luego de la aceptación de las explicaciones me-

canicistas, los dilemas que concitaban la atención de figuras racionales tales como Newton y Boyle eran los mismos que preocupaban a los herméticos: la transmutación y el *alkahest*; el efecto del polvo de simpatía, la influencia de las constelaciones sobre los hombres y el uso de fórmulas magistrales con fines medicinales. "Lo hallado en los archivos de la Royal Society son recuerdos edificantes de las muchas corrientes que confluyeron para la revolución científica del siglo XVII. Recuerdos que indican en qué medida los creadores de la ciencia moderna, como es el caso de Newton, aún se valían de la tradición hermética aunada con la nueva filosofía natural", sostiene Rattansi.

"Los problemas médicos siempre comandaron los intereses, y los médicos siempre fueron una comunidad influyente. Los que se enfocaban en un contexto mayor, como fue el caso de Isaac Newton, siempre existieron en menor número, incluso durante los siglos XVII, XVIII y XIX. Por ejemplo, en 1820, tan sólo había 100 personas en la isla que realizaban investigaciones científicas. La ciencia no era vista como algo que pudiera resolver los problemas tecnológicos o médicos, por eso no había inversión en capital humano para desempeñarse en esas áreas", recuerda el historiador Frank James, presidente de la Royal Institution.

"Queda claro que el trabajo de Newton relacionado con la fuerza y la gravitación se encuentran asociados con los experimentos alquímicos, precisamente, porque esos conceptos no eran contemplados en el pensamiento filosófico de aquel período. Y ése es el motivo subyacente para que otros autores entren en conflicto con las ideas de Newton, puesto que ellos no necesariamente reconocen como legítimos los orígenes de sus postulados. Solamente Newton sabía de la validez de sus estudios porque mucho de ello se basaba en sus trabajos como alquimista", pondera James. "Newton sólo realizó los descubrimientos que hizo al valerse de todas las formas del conocimiento, lo cual le permitió percibir aquello que los pensadores 'racionales' no lograron vislumbrar", concuerda Rattansi.

El historiador Michael Hunter, del Birbeck College, en Londres, nota "una exageración e inconsistencia en esas afirmaciones". Algunos miembros individuales incluso pueden haberse aventurado en la alquimia o en la búsqueda de curaciones milagrosas, pero lo dejaban de lado cuando se reunían en la Royal Society, que segregaba las búsquedas mágicas en detrimento del estudio de la filosofía natural, de la cual la institución fue públicamente la mayor difusora", advierte Hunter. "Es necesario recordar que la Royal Society funcionaba como una entidad corporativa y cumplió un rol fundamental para el establecimiento de fronteras entre lo que era o no ciencia", aclara. Según él, en los artículos del *Philosofical transactions* tales alquimias se trataban en forma tangencial, cuando se hablaba de ellas. Era una cuestión de honor para su editor, Henri Oldenburg, quien rechazaba dichas "magias". "Raramente hallamos investigaciones de laboratorio relacionadas con la alquimia, incluso porque el público intelectual de la época rechazaba los hechos sobrenaturales, e ingresar en ese terreno significaría manchar la reputación de quien lo hiciera", analiza Hunter. No obstante, vale recordar que las investigadoras hallaron un documento, escrito por Oldenburg, detallando "los experimentos realizados en la Royal Society bajo la presidencia de Sir Murray", entre los cuales se hallaba el *alkahest*.

3

Los archivos de la Royal Society constituyen recuerdos edificantes de las distintas corrientes que se unificaron con la revolución científica del siglo XVII

Sea como sea, el punto más importante en esta historia, que hoy en día puede pasar desapercibido, es el establecimiento de estándares en los modos de pensar y operar en el laboratorio. "En un mundo en que la alquimia trabajaba con teorías y formulaciones secretas, cada grupo de estudiosos poseía diferentes formas de pensar y operar sobre el tema. El trabajo de la Royal Society y de Oldenburg, puede entonces considerarse como una forma de aglutinar a los grupos dispersos y establecer patrones de trabajo en el laboratorio que pudieran repetirse, tal como aboga la ciencia moderna", dice Goldfarb.

Esto se encuentra presente en la correspondencia del secretario con el médico hermético veneciano Francisco Travagino. Oldenburg descubre que el amigo italiano convirtió mercurio corriente en plata pura y deseaba contar con la fórmula. Al remitírsela, Travagino lamenta no ser capaz de repetir el hecho. La respuesta de Oldenburg revela el anhelo de la época por hallar un rumbo moderno para la ciencia de laboratorio: para él, una de las mayores dificultades en cualquier procedimiento consistía en tener como uno de los parámetros raros el origen del material. "Tal como Boyle, Oldenburg pensaba en estándares claramente definidos, de tal modo que el experimento pudiera reproducirse y aceptarse universalmente", sostiene Ferraz. Las cartas revelan que el primer secretario de la Royal Society quizá haya sido algo más que *intelligencer* al intercambiar ideas con grandes personalidades, tales como Boyle. Por ser un inmigrante, siempre visto con desconfianza, y consciente de su posición como secretario, Oldenburg prefirió compartir sus ideas y su posible experiencia de laboratorio con otros miembros de esa sociedad. A cambio de ello habría obtenido un puesto oficial y un sueldo más digno.

Nos encaminamos, entonces, hacia un nuevo misterio, sobre la posible ingesta de preparados herméticos por parte de las personalidades notables de la época, con dramáticas consecuencias. Las investigadoras están desmenuzando esta historia para poder documentarla. ■

El juego de la silla en la ONU

La idea de que Brasil ocupe un escaño en el Consejo de Seguridad, tenida como "un capricho" por ciertos analistas, partió de Estados Unidos

Carlos Haag

PUBLICADO EN JULIO DE 2012

Estrella de ese encuentro, Rui Barbosa confesó su decepción con el rumbo práctico de la Conferencia de La Haya de 1907. "Pero sus resultados invisibles fueron muy lejos, pues les mostraron a los fuertes el rol necesario de los débiles en la elaboración del derecho de gentes". Este concepto de superación de las relaciones asimétricas de poder por nuevas formas ideales de interacción diplomática en que el estatuto igualitario sería un dato esencial sigue presente en el discurso diplomático brasileño hasta los días actuales, especialmente en lo que atañe a la postulación del país a acceder a un escaño permanente en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas. Para muchos analistas, esta aspiración es una *misperception* de nuestra real estatura internacional, es el deseo de un estatus que, una vez logrado, nos ocasionaría un alto costo económico y militar. La acción reciente del Ejecutivo en tal sentido sería incluso una "obsesión".

Con todo, la historia revela que la pretensión de ser "el sexto miembro" del consejo no es fruto de una visión errónea, sino que formó parte de la agenda de la creación de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) desde sus albores. "En 1944, en la Conferencia de Dumbarton Oaks, que reunió a las potencias aliadas, se aprobaron propuestas tendientes a la creación de una nueva organización internacional encargada de mantener la paz futura; por la fuerza inclusive, de ser necesario. Brasil, ausente en ese encuentro, fue el único país pensado para ocupar un sexto asiento permanente en el futuro Consejo de Seguridad", comenta el diplomático Eugênio Garcia, docente titular del Instituto Rio Branco y autor de *O sexto membro permanente: o Brasil e a criação da ONU* (editorial Contraponto). La sugerencia partió del presidente Roosevelt, quien instruyó a su delegación a trabajar en pro de la postulación brasileña. El hecho de formar parte del organismo que realmente ostentaba el poder en la ONU, encargado de la seguridad global, era un sueño de consumo, un privilegio de los llamados Cuatro Policías: Estados Unidos, Inglaterra, la Unión Soviética y China. Francia, posteriormente, se uniría a ellos y formaría el grupo de los P-5.

"Le informé al presidente que habíamos planteado la cuestión de la banca permanente para Brasil en el Consejo de Seguridad, a lo que el grupo soviético y el británico se opusieron, por eso no sería aconsejable a esta altura seguir presionando. El presidente, finalmente, coincidió en no incluir a Brasil en el borrador inicial, pero sí debería incluirse una cláusula general en la propuesta, de manera tal de dejar una puerta abierta para que, trabajando con Stalin y con el primer ministro británico, se pudiese volver al tema posteriormente, antes del inicio del funcionamiento de la organización", escribió el subsecretario de Estado norteamericano Edward Stettinius en su diario personal, en agosto de 1944. Días después añadió: "Le he entregado al presidente el memorándum que recomienda que no presionemos por un lugar permanente para Brasil. De entrada no le ha agradado, pero luego ha coincidido. El presidente ha declarado que esto es importante pues, en el futuro, él podría plantear la necesidad de un lugar para un país islámico y que Brasil era un triunfo escondido para uso posterior".

El proyecto de un grupo que sobrevolase por encima de una asamblea general de países "menores" fue una manera de distribuir el rol de "la seguridad" entre las distintas regiones, eximiendo a Estados Unidos de tener que intervenir militarmente en todo el globo. "Al gobierno brasileño no se lo consultó y solamente se enteró de la propuesta en octubre de 1944, cuando se dio a conocer el borrador de la Carta aprobado en reunión secreta. La iniciativa ni siquiera cobró cuerpo en los círculos decisorios americanos; pero, así como se había incluido a China en el grupo, más allá de la resistencia de los otros aliados, Roosevelt creyó que su sugerencia contaría con be-

ONU

Bertha Lutz firma por Brasil en la Conferencia de San Francisco (1945)

neplácito", sostiene el autor. Un memorándum interno, de septiembre de 1944, hizo llegar al Departamento de Estado una conversación con el representante brasileño en Washington: "El embajador explicó las dificultades ocasionadas por el absoluto desconocimiento al respecto de las negociaciones de Dumbarton Oaks. Dijo que el presidente Vargas se había mostrado sumamente molesto al admitir que solamente se enteran por lo que sale publicado en la prensa y que incluso el gobierno argentino tiene más información que ellos".

DESDE LOS TIEMPOS DE RIO BRANCO

La resistencia inmediata de Inglaterra y la Unión Soviética estaba relacionada con el pro americanismo brasileño, explícito desde los tiempos de Rio Branco. En el consejo, decían, Brasil sería "un voto doble" de Estados Unidos. Incluso la delegación norteamericana se lo desaconsejó a Roosevelt, pues Estados Unidos sería "responsable" del desempeño brasileño. Entonces se acordó que el apoyo de Washington se limitaría a la postulación de Brasil a un lugar temporal en el organismo, cosa que sucedió en 1946. "Pero las alegaciones eran muy selectivas. Se decía que el poder militar era una condición necesaria para obtener un escaño, pero China en ese entonces solamente controlaba una fracción de su territorio. La imposición estadounidense fue estratégica para fortalecer al aliado asiático en la lucha contra Japón", analiza Eugênio Garcia. Inglaterra, a su vez, contraria a Brasil, dejó de lado su restricción al ingreso de un nuevo miembro para darle una banca a la Francia gaullista. En el Palacio do Catete el globo de ensayo de Roosevelt se infló de entusiasmo, tenido como una recompensa al único país sudamericano que enviara tropas a Europa.

EE.UU. se echó atrás y sólo se dignó a defender a Brasil como miembro no permanente

Era también la posibilidad de ajustar las cuentas con las grandes potencias, luego del desastroso episodio de la Liga de las Naciones de 1926, cuando el gobierno de Arthur Bernardes apostó todas sus fichas a la "candidatura natural" de Brasil para ser miembro permanente de ese órgano. Al ser dejado de lado a favor de Alemania, el país se desvinculó de la institución. El escaño conllevaría la reanudación del multilateralismo brasileño, una intención universal. Vargas, quien conducía personalmente la política exterior brasileña, en detrimento de la cancillería de su amigo Oswaldo Aranha, tenía fe en su amistad personal con Roosevelt y apostó a la conversación bilateral para negociar su lugar en el consejo. Posteriormente, ya conformada con una banca provisoria, la diplomacia varguista continuó enfocándose en el consejo. "Brasil hizo esa opción porque vio que allí se jugaría el partido principal. Que Vargas haya tomado esa decisión es digno de nota. Pese a su enfoque en el desarrollo económico, no renunció a lograr que Brasil cumpliese un papel en la esfera de la seguridad internacional", dice Garcia.

La vinculación "especial" con Washington hizo que Brasil mantuviera vínculos endebles con sus vecinos, que retribuían ese gesto de "darles la espalda" por parte de Brasil con desconfianza, especialmente Argentina. "Sin embargo, Vargas pendía entre acercarse más a Estados Unidos y precaverse contra el deterioro de las relaciones con los argentinos", comenta el autor. Al fin y al cabo, entre 1944 y 1945, con el final del conflicto, Brasil había dejado de ser un socio estratégico, y Estados Unidos se había ido alejando del "amigo leal". La muerte de Roosevelt en 1945 sepultaría definitivamente la era de las relaciones bilaterales "especiales". La Conferencia de San

La ONU a ritmo brasileño

1944

En Dumbarton Oaks se creó la idea de un organismo de seguridad, la futura ONU. Roosevelt defendió el ingreso Brasil como miembro del Consejo de Seguridad

1945

En la Conferencia de San Francisco, la delegación brasileña aceptó los términos, pero intentó incluir una revisión del documento al cabo cinco años, en busca del escaño permanente

1946

Brasil obtiene un lugar temporal y participa en la primera reunión del Consejo

1994

Brasil, con el canciller Amorim, lanza la postulación oficial al Consejo de Seguridad y solicita su reforma

2003

El presidente Lula da Silva, en su primer discurso en la ONU, retoma el proyecto de la candidatura brasileña

2011

La presidenta Dilma Rousseff abre la Asamblea de la ONU refiriéndose a la necesidad de que haya igualdad entre los países, y que Brasil sigue aspirando a una banca entre los grandes

FOTOS ONU

1 El encuentro de Dumbarton Oaks, en 1944, cuando se "inventó" la ONU

2 Dutra, en el medio, mira hacia el proyecto del edificio de la ONU, en 1947

Francisco fue convocada aquel año para formalizar las propuestas de Dumbarton Oaks con "los 45 países menores".

PRESIÓN

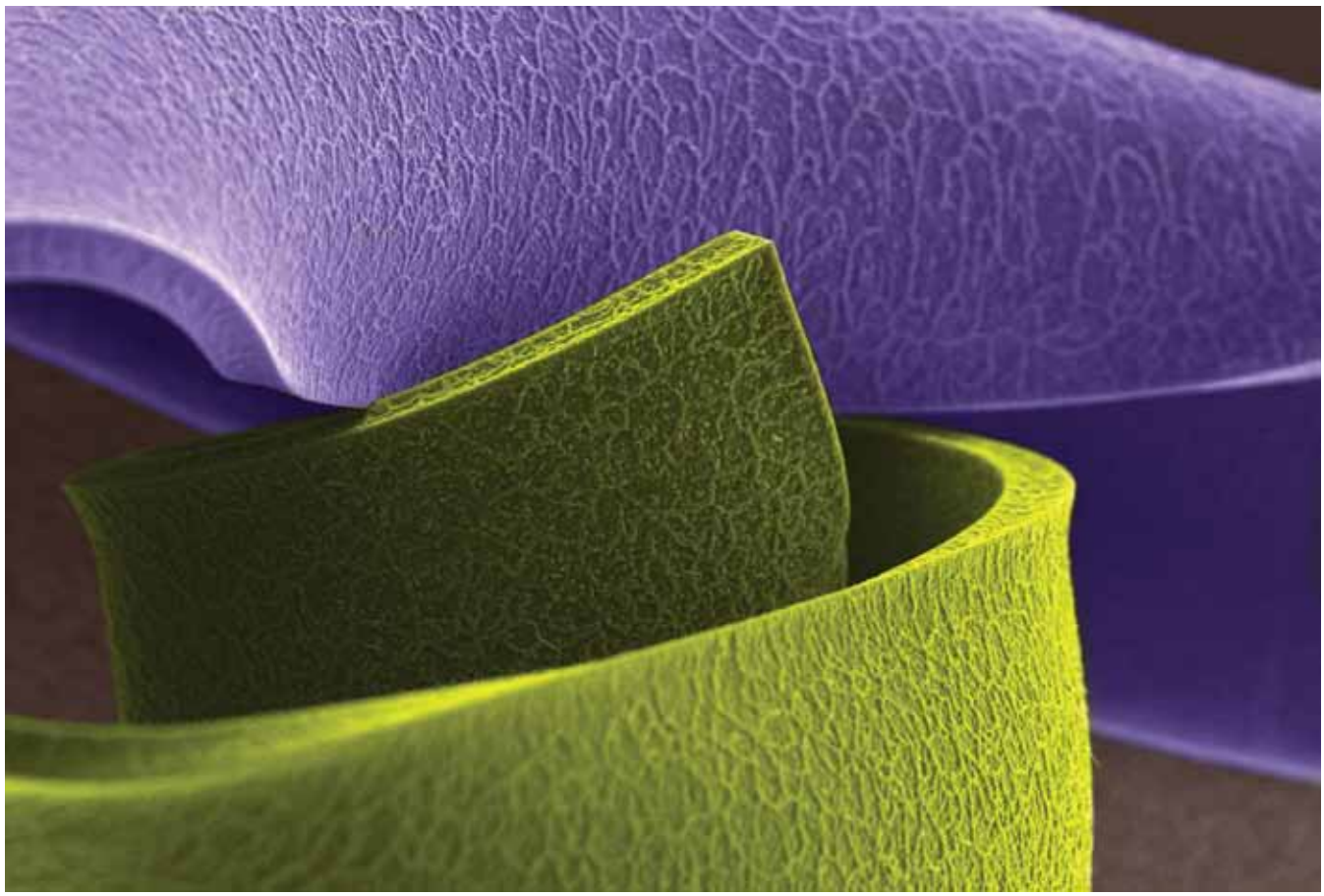
Varios países fueron presionados a establecer relaciones con la Unión Soviética, como condición indispensable para participar en la conferencia, atendiendo a los reclamos de Stalin. Brasil fue el primero en ser "trabajado" por los americanos. Desde 1917, el país carecía de lazos diplomáticos con los rusos. Vargas, de mala gana, se vio obligado a sellar un acuerdo con Moscú. Esta amistad duraría poco: en 1947, el presidente Dutra, en medio del fuego cruzado de la Guerra Fría, rompió relaciones con la URSS. Pero la presión de 1945 anticipaba el tono del encuentro, que debería meramente ratificar las decisiones de los Policías, al incluirse el poder de veto en el Consejo de Seguridad. La conferencia serviría para mantener la esencia de la Carta "a la fuerza": o se aceptaba el mantenimiento de las prerrogativas de los miembros permanentes, o, según advertían, no habría organización.

Brasil, que de entrada se opuso a la concesión del veto, ante la amenaza de que se malograse la conferencia, volvió sobre sus pasos y aceptó los términos. Antes de rendirse, la delegación brasileña propuso la revisión de la Carta al cabo de cinco años, con la "enmienda Velloso", nombre del canciller que reemplazara a Aranha. Sería un mecanismo de revisión quinquenal, a cargo de la Asamblea General, con poderes constituyentes para modificar la Carta mediante mayoría de los dos tercios, sin derecho a veto. Fue igualmente derrotada. De notable, sólo restó la participación de Bertha Lutz, la elección menos conservadora de Vargas para la delegación, quien se esmeró en la defesa de los derechos de las mujeres.

"Brasil apostó a la intercesión estadounidense como el camino más corto para lograr su objetivo, pero su estrategia falló, pues Estados Unidos ya no tenía al país como socio vital estratégicamente. Cuando el gobierno brasileño más anhelaba el reconocimiento de su lealtad para cosechar los frutos de la relación especial que creía mantener con Estados Unidos, éste lo abandonó. Fue el comienzo del desencanto", sostiene el autor. Si el país hubiese obtenido la banca en 1945, esto habría sido una consecuencia de la intervención americana, como en el caso de China; o, volviendo en el tiempo, de la misma forma que Brasil ingresó en el Consejo de la Liga de las Naciones en 1919, por sugerencia del presidente Wilson. Pero restaron solamente concesiones tales como un escaño temporal (que ya ocupó en una decena oportunidades), la participación de Oscar Niemeyer en el equipo que proyectó el edificio sede de la ONU en Nueva York y la convocatoria a Aranha para presidir la espinosa sesión de la Asamblea General que ratificó la división de Palestina en 1947. Los fuertes aún no reconocían el rol necesario de los débiles en la elaboración del derecho de gentes.

Sólo en 1989, el entonces presidente José Sarney volvió a tocar el tema del escaño en su discurso ante la Asamblea General. En 1994, durante el gobierno de Itamar Franco, Brasil relanzó oficialmente su postulación para ocupar una plaza permanente y actuó en pro de una reforma del consejo. Durante el gobierno de Lula da Silva, la reforma y la banca se convirtieron en uno de los principales temas de su política exterior, y el presidente, desde 2003, en su primer discurso ante la ONU, defendió abiertamente el proyecto. Fue la misma actitud adoptada en 2011 por la presidenta Dilma Rousseff, quien insistió en la defesa de la candidatura nacional.

Para Garcia, las posibilidades brasileñas actualmente son mayores. Pero éste advierte: "La banca permanente no significaría que Brasil se ha transformado en 'una potencia mundial' del día a la noche, sino que el Consejo se ha abierto a la participación de países en desarrollo, al aceptarlos como los miembros permanentes por decisión de la Asamblea General". Según Garcia, el organismo, que es importantísimo, no es reflejo de la realidad en su composición. "Debe ser más representativo, para ser más legítimo y más eficaz", sostiene. El investigador cree que el país está preparado para ejercer esa función. "Si en 1945 el presidente Roosevelt creía que Brasil podría integrar el consejo, cuando el país era mucho menos de lo que es actualmente, ¿por qué Brasil no puede ser hoy en día el sexto miembro permanente? Hay que pensar en esto", dice. ■



Nanotecnología y arte

PUBLICADO EN JULIO DE 2012

Lo que se asemeja a una muestra de tiras de tejido entrelazadas es en realidad un agrupamiento de nanopartículas de óxido de hierro. Se trata de un semiconductor tipo n, que se utiliza para captar fotones (partículas de luz) y transformarlos en energía eléctrica. La fotografía de la nanopartícula se realiza mediante el empleo de un microscopio electrónico de altísima resolución y luego es coloreada por investigadores o técnicos. "La costumbre de pintar las fotos de las formaciones nanométricas contribuyó a originar el nanoarte, que actualmente cuenta con un lugar asegurado en exposiciones realizadas en las galerías de todo el mundo", dice Elson Longo, coordinador del Laboratorio Interdisciplinario de Electroquímica y Cerámica de la Universidad Estadual Paulista, *campus* de Araraquara. La foto, bautizada con el nombre de *Spirals*, formó parte de una exposición en Nueva York, en 2011.

Foto captada y coloreada por Rorivaldo Camargo y enviada por Elson Longo, ambos del Liec/ Unesp