

# Pesquisa

FAPESP ▲

MAYO DE 2024 | EDICIÓN 1

## CENTINELAS DE LA SELVA

Múltiples sistemas monitorean la deforestación en la Amazonia y orientan el trabajo de inspección

En pruebas con animales, una vacuna estimula la producción de anticuerpos contra la cocaína

Antes marginado, el hiphop cumple 50 años y aporta nuevos temas de investigación

El sodio puede erigirse como una alternativa al litio en las baterías de los vehículos eléctricos

El índice de suicidios entre indígenas es tres veces más alto que el de la población de Brasil en general



**PRESIDENTE**

Marco Antonio Zago

**VICEPRESIDENTE**

Ronaldo Aloise Pilli

**CONSEJO SUPERIOR**

Carmino Antonio de Souza, Helena Bonciani Nader, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Marclio Alves, Maria Arminda do Nascimento Arruda, Mayana Zatz, Mozart Neves Ramos, Pedro Luiz Barreiros Passos, Pedro Wongtschowski y Thelma Krug

**CONSEJO TÉCNICO ADMINISTRATIVO****DIRECTOR PRESIDENTE**

Carlos Américo Pacheco

**DIRECTOR CIENTÍFICO**

Marcio de Castro Silva Filho

**DIRECTOR ADMINISTRATIVO**

Fernando Menezes de Almeida

**Pesquisa**  
ISSN 1519-8774 FAPESP**COMITÉ CIENTÍFICO**Luiz Nunes de Oliveira (*Presidente*), Américo Martins Craveiro, Anamária Aranha Camargo, Ana Maria Fonseca Almeida, Anapátricia Moraes Vilha, Carlos Américo Pacheco, Carlos Graeff, Célio Haddad, Claudia Mendes de Oliveira, Deisy de Souza, Douglas Zampieri, Eduardo Zancul, Euclides de Mesquita Neto, Fernando Menezes de Almeida, Flávio Vieira Meirelles, José Roberto de Franca Arruda, Jô Ueyama, Lillian Amorim, Lilliam Sanchez Carrete, Marcio de Castro Silva Filho, Mariana Cabral de Oliveira, Marco Antonio Zago, Maria Julia Manso Alves, Marie-Anne Van Sluys, Marta Arretche, Nina Stocco Ranieri, Paulo Schor, Reinaldo Salomão, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Luiz Vitor de Souza Filho y Watson Loh**COORDINADOR CIENTÍFICO**

Luiz Nunes de Oliveira

**DIRECTORA DE REDACCIÓN**

Alexandra Ozorio de Almeida

**EDITOR EN JEFE**

Neldson Marcolin

**EDITORES** Fabrício Marques (*Política C&T*),Carlos Fioravanti (*Ciencias de la Tierra*), Marcos Pivetta (*Ciencias Biológicas*), Maria Guimarães (*Ciencias Biológicas*), Ricardo Zorzetto (*Ciencias Biomédicas*), Ana Paula Orlandi (*Humanidades*) y Yuri Vasconcelos (*Tecnología*)**REPORTERA** Christina Queiroz**ARTE** Claudia Warrak (*Editora*), Julia Cherem Rodrigues y Maria Cecilia Felli (*Diseñadoras*) y Alexandre Alfonso (*Editor de infografías*)**FOTÓGRAFO** Léo Ramos Chaves**BANCO DE IMÁGENES** Valter Rodrigues**TRADUCCIÓN** Damian Kraus, Ariel Kraus y Geraldine Kraus (*editorial*)**REVISIÓN** Damian Kraus y Ariel Kraus**COLABORADORES** David Lapola, Diego Viana, Domingos Zapparoli, Guilherme Eler, Letícia Naísa, Renata Fontanetto, Sarah Schmidt y Suzel Tunes**IMPRESIÓN** MaisType**PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE TEXTOS, FOTOS, ILUSTRACIONES E INFOGRAFIAS SIN LA DEBIDA AUTORIZACIÓN PREVIA****GESTIÓN ADMINISTRATIVA** FUSP – FUNDAÇÃO DE APOYO A LA UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO**PESQUISA FAPESP** Rua Joaquim Antunes, nº 727, 10º piso, CEP 05415-012, Pinheiros, São Paulo-SP, Brasil  
**FAPESP** Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP, BrasilSECRETARÍA DE DESARROLLO ECONÓMICO,  
CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
GOBERNACIÓN DEL ESTADO DE SÃO PAULO

## CARTA DE LA EDITORA

## Una constante vigilancia

Alexandra Ozorio de Almeida | DIRECTORA DE REDACCIÓN

La región amazónica ha venido estando en la mira pública en el transcurso de este siglo. Es una de las más importantes reservas de biodiversidad que quedan en el planeta, y su valor para la vida en la Tierra resulta incalculable. La Amazonia también cumple un rol esencial en la regulación climática, con una influencia que se extiende mucho más allá de las fronteras del propio bioma. Los temores al respecto de la destrucción de la selva motivan debates sobre su ocupación y su preservación que han de tener en cuenta las perspectivas de los pueblos indígenas que la habitan, y su población, que ronda los 30 millones de habitantes.

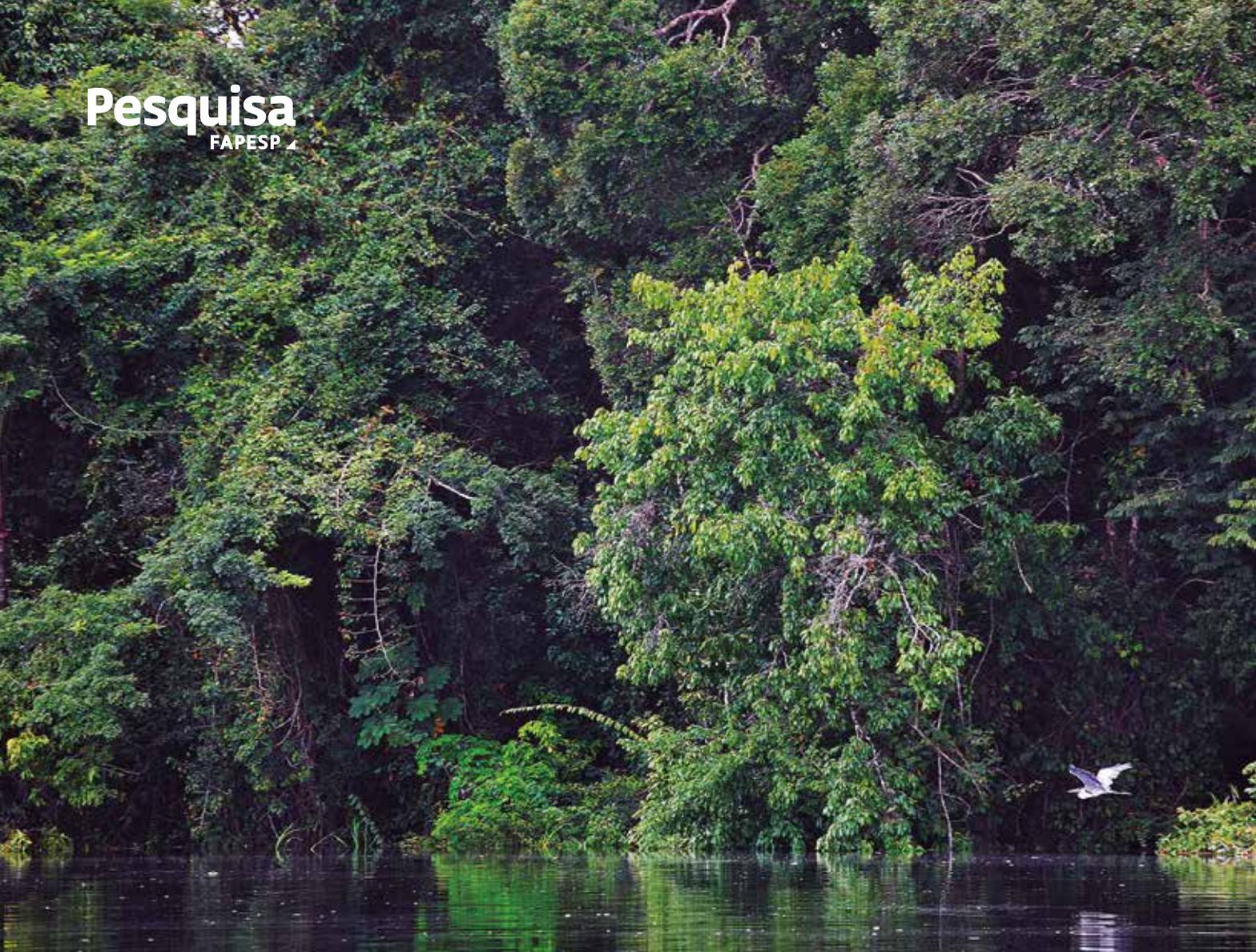
Un tema clave para su conservación reside en la capacidad de monitorear la región vía satélite. Brasil es ampliamente reconocido por su capacidad de monitorización. Expertos calificados del sector público y de diversas ONG recaban y analizan los datos. La información que surge merced a la constante vigilancia permite una acción inmediata tendiente a evitar la deforestación en tiempo real. A su vez, la misma también suministra apoyo a la formulación de políticas, provee bases para las negociaciones internacionales y alimenta la investigación científica y tecnológica, que como contrapartida impulsa la producción de más y mejores datos.

El artículo estampado en la portada de esta Edición Internacional de *Pesquisa FAPESP* presenta cinco distintas iniciativas en curso que monitorean la deforestación en la Amazonia, poniendo el énfasis en sus características, sus diferencias metodológicas y sus utilidades (*desde la página 6*). Asimismo, en un reportaje contiguo se debate la iniciativa TerraClass, que mapea el uso de

la tierra deforestada en la región (*página 14*). Este proyecto, desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) de Brasil y la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), ha sido reanudado tras un período de inactividad. La recientemente publicada radiografía del año 2020 muestra que las tierras de la Amazonia se encuentran ocupadas en un 14 % por pasturas y por la agricultura.

Esta edición contiene también una recopilación de artículos publicados originalmente en portugués entre julio y diciembre de 2023. Los mismos cubren una amplia variedad de temas: un proyecto de desarrollo de una vacuna para tratar la adicción a la cocaína (*página 30*), una encuesta que indica una mayor incidencia de las tasas de suicidio entre las poblaciones indígenas de Brasil (*página 35*), el origen de las abejas en Gondwana, hace 120 millones de años (*página 38*) y el prototipo brasileño de una batería de sodio como una alternativa para la movilidad eléctrica (*página 46*), entre otros.

El entrevistado en esta ocasión asumió como presidente de la Biblioteca Nacional de Brasil en 2023. Con más de 200 años de antigüedad y en posesión de más de 10 millones de piezas, dicha institución salvaguarda el patrimonio bibliográfico del país. Marco Lucchesi, profesor de literatura comparada en la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), definió que su misión es hacer una biblioteca más accesible. El también poeta y escritor habló de su trabajo en la institución y sobre la importancia de la investigación en literatura e historia para la traducción de autores al portugués. Lucchesi mismo es traductor y habla fluidamente más de 22 idiomas (*página 16*).



### 3 CARTA DE LA EDITORA

#### TAPA

**6** Sistemas monitorean las pérdidas selváticas en la Amazonia vía satélite y facilitan la consecución de la meta de eliminar el desmonte

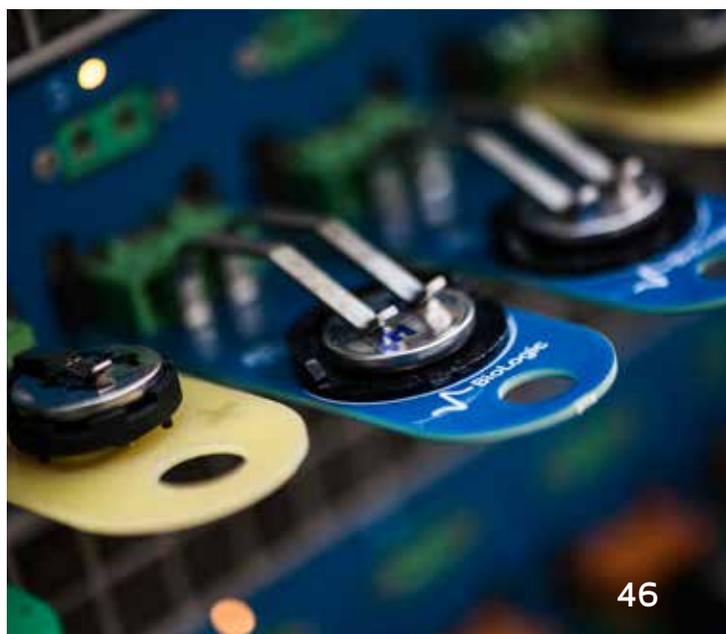
**14** La Empresa Brasileira de Investigación de Agropecuaria (Embrapa) y el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) de Brasil reanudan el relevamiento continuo de las áreas amazónicas que han perdido vegetación

### ENTREVISTA

**16** Marco Lucchesi, presidente de la Biblioteca Nacional de Brasil, traduce autores de idiomas tales como el persa, el ruso y el turco

### INDICADORES

**22** El informe anual *Relatório de atividades* de la FAPESP muestra de qué manera la fundación paulista expandió la financiación en ciencia y tecnología en 2022





6

## EVOLUCIÓN

**38** Las abejas surgieron hace 120 millones de años en el supercontinente conformado por los actuales territorios de América del Sur y África

## GEOLOGÍA

**40** En el transcurso de 90.000 años, el río São Francisco, en Brasil, se alineó y se volvió más profundo

## CAMBIO CLIMÁTICO

**44** Los musgos extraen 6.430 millones de toneladas de carbono anuales de la atmósfera

## ENERGÍA

**46** Científicos brasileños preparan el primer prototipo nacional de batería de sodio

## BIOTECNOLOGÍA

**50** Un sensor de cartón puede monitorear la calidad del agua

## SOCIEDAD

**52** A sus 50 años, el movimiento hiphop motiva estudios en áreas tales como la antropología y la educación

## CIENCIA POLÍTICA

**58** Datos tributarios sirven para estudiar un siglo de expansión de las iglesias evangélicas en Brasil

## ARQUEOLOGÍA

**62** Miles de geoglifos y la producción intencional de tierra negra indican la ocupación humana remota de la Amazonia

## 66 FOTOLAB

### Portada

Imágenes del satélite Sentinel 2 tomadas en julio del año 2022 muestran desmontes en dos áreas del estado brasileño de Rondônia: en una extensión situada entre el río Madeira y su afluente Jamari (*tapa*), y en la zona de Cujubim (*contratapa*). Los polígonos de color tierra son áreas deforestadas, y las pequeñas manchas blancas representan nubes.

IMÁGENES DEL SENTINEL 2 / ESA

## DIFUSIÓN

**26** Los percances que aquejan a los científicos que no escriben bien en inglés

## FARMACOLOGÍA

**30** Avanzan las pruebas para el desarrollo de una vacuna destinada a los adictos a la cocaína

## EPIDEMIOLOGÍA

**35** El índice de suicidios entre indígenas es casi tres veces más alto que entre la población de Brasil en general

40



TAPA

# LOS VIGÍAS DE LA SELVA

Múltiples sistemas de monitoreo vía satélite rastrean el desmonte en la Amazonia y hacen su aporte para alcanzar la meta de deforestación cero en 2030

Marcos Pivetta

**E**l 9 de noviembre, por 36ª vez en la historia, el gobierno brasileño reiteró un gesto esperado por la sociedad brasileña y la comunidad internacional: divulgó la tasa oficial anual de deforestación en la llamada Amazonia Legal, un área de unos 5 millones de kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), correspondiente al 58,9 % del territorio nacional. La noticia fue alentadora.

Según las estimaciones del Programa de Monitoreo Satelital de la Deforestación en la Selva Amazónica Brasileña (Prodes), una iniciativa del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe), la extensión de la superficie deforestada entre agosto de 2022 y julio de este año fue de 9.001 km<sup>2</sup>, un 22,3 % menor que la del período anterior.

Entre 2019 y 2022, el índice nunca había sido inferior a los 10.000 km<sup>2</sup>.

Creado en 1988, el sistema Prodes es la primera y la más antigua iniciativa destinada a efectuar la teledetección mediante imágenes satelitales de la deforestación en la Amazonia brasileña, que alberga a la mayor selva tropical del planeta. Sus datos, reconocidos en acuerdos internacionales suscritos por el país y citados en casi 1.600 artículos científicos, revelan que en las últimas décadas ha sido talada aproximadamente una quinta parte de la selva amazónica.

Desde 2004, el Sistema de Detección del Desmonte en Tiempo Real (Deter), también del Inpe, pasó a funcionar y a operar como complemento al trabajo del Prodes. El Deter emite alertas diarios sobre los fragmentos de la selva que están perdiendo



La central hidroeléctrica de Jirau, en el río Madeira, en el estado Rondônia, muestra polígonos de deforestación en su margen derecha

IMAGEN COORDINACIÓN GENERAL DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA/ INPE

do su cobertura vegetal. Los avisos se envían a los organismos de inspección ambiental que utilizan esta información para combatir la deforestación.

“Tenemos una amplia experiencia en teledetección, un área en la que hacemos un trabajo de primer nivel”, comenta el ingeniero y experto en geoprocésamiento Gilberto Cámara, director general del Inpe entre 2006 y 2013, quien en la actualidad se desempeña como consultor en el área. “En la década de 1970, Brasil fue el tercer país en utilizar las imágenes suministradas por los satélites Landsat, después de Estados Unidos y Canadá.

Luego del Prodes y el Deter, otros proyectos coordinados por organizaciones científicas de la sociedad civil, como MapBiomás y el Instituto del Hombre y el Medio Ambiente de la Amazonia (Imazon), empezaron a monitorizar la dinámica y la evolu-

ción de la deforestación en la Amazonia brasileña mediante el análisis de las imágenes de satélites.

Si bien tienen puntos en común con las iniciativas pioneras del Inpe, cada sistema apunta a objetivos un tanto diferentes y adopta sus propias metodologías para producir sus datos. Pueden, por ejemplo, utilizar distintos satélites, con resolución espacial y tiempos de revisita diferentes con relación a cada punto de la Amazonia. También pueden analizar las imágenes obtenidas en forma automática, únicamente empleando un *software*, o bien con la ayuda del ojo entrenado de un experto. No obstante, todos divulgan algún tipo de cálculo de la deforestación mensual o anual en la Amazonia (véase el gráfico de la página 8 con la evolución anual del desmonte según los distintos sistemas).

Estas particularidades conducen necesariamente a resultados que no suelen coincidir totalmente con los informes del Prodes y el Deter. Los especialistas no consideran preocupantes a estas divergencias, siempre y cuando el escenario general de deforestación que retrata cada iniciativa sea similar e indique tendencias análogas, como el aumento o la disminución de la supresión de la vegetación.

“El sistema público de monitoreo de la deforestación en la Amazonia es bueno y razonablemente robusto”, dice el físico Ricardo Galvão, presidente del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq). “Las propuestas de la sociedad civil son bienvenidas y desempeñan una labor complementaria muy importante”. El país ha asumido un compromiso internacional de deforestación cero en la Amazonia para 2030.

En agosto de 2019, Galvão fue destituido de su cargo al frente del Inpe tras haber defendido públicamente la corrección y la rectitud de los datos producidos por el Inpe al respecto de la deforestación en la Amazonia frente a las críticas infundadas vertidas por el entonces presidente Jair Bolsonaro y sus ministros.

En aquel momento, la tasa de deforestación anual calculada por el Prodes había superado los 10.000 km<sup>2</sup>, algo que no ocurría desde 2008. El gobierno federal cuestionó la veracidad de las cifras y amenazó con contratar a una empresa privada para que hiciera el trabajo del Inpe. El caso ganó repercusión mundial y la idea de tercerizar el trabajo de monitoreo no prosperó.

El hecho de contar con varios sistemas dedicados a observar y dimensionar el proceso de supresión de la vegetación autóctona de la Amazonia permite que los datos oficiales puedan ser confirmados, depurados o incluso refutados por la sociedad civil. Si algún día, por cualquier motivo, el Prodes y el Deter llegaran a fallar, hay otras alternativas disponibles. “Estos sistemas alternativos también pueden funcionar como respaldo, una copia de seguridad de los servicios que presta el Inpe”, dice el experto en teledetección Carlos Souza Jr., de Imazon.

Para entender las similitudes y las diferencias entre los sistemas, *Pesquisa FAPESP* elaboró un resumen de las características principales de las cinco iniciativas que monitorean el desmonte en la Amazonia, cuatro de ellas nacionales y una extranjera.

### EL PRODES

El especialista en teledetección Cláudio Almeida, coordinador del Programa de Monitoreo de la Amazonia y Demás Biomas del Inpe, narra una historia interesante sobre los proyectos que precedieron y generaron la experiencia que permitió la implementación del Prodes. En la década de 1970, en el contexto de las políticas públicas oficiales destinadas a estimular la ocupación de la Amazonia y la puesta en marcha de grandes proyectos agropecuarios, una de las preocupaciones del gobierno federal consistía en contar con los medios para cerciorarse de que sus incentivos se estaban empleando correctamente.

“Por entonces, el monitoreo de la Amazonia mediante imágenes satelitales se pensó como una forma de asegurarse de que los proyectos realmente estaban siendo implementados, es decir, que había áreas de la selva que estaban siendo taladas con el objetivo de ganar espacio para la agricultura y la ganadería”, dice Almeida.

Los cuestionamientos a esta concepción dominante de progreso comenzaron a arreciar a partir de los años 1980, con el ascenso movimiento ambientalista. Como poseedor de la mayor selva tropical del planeta, Brasil empezó a ser interpelado internacionalmente por el destino de la Amazonia que, más allá de su exuberante biodi-

versidad, desempeña un rol importante en la regulación del clima mundial. Fue en ese contexto, opuesto al que había predominado en la década anterior, que se creó el Prodes en 1988.

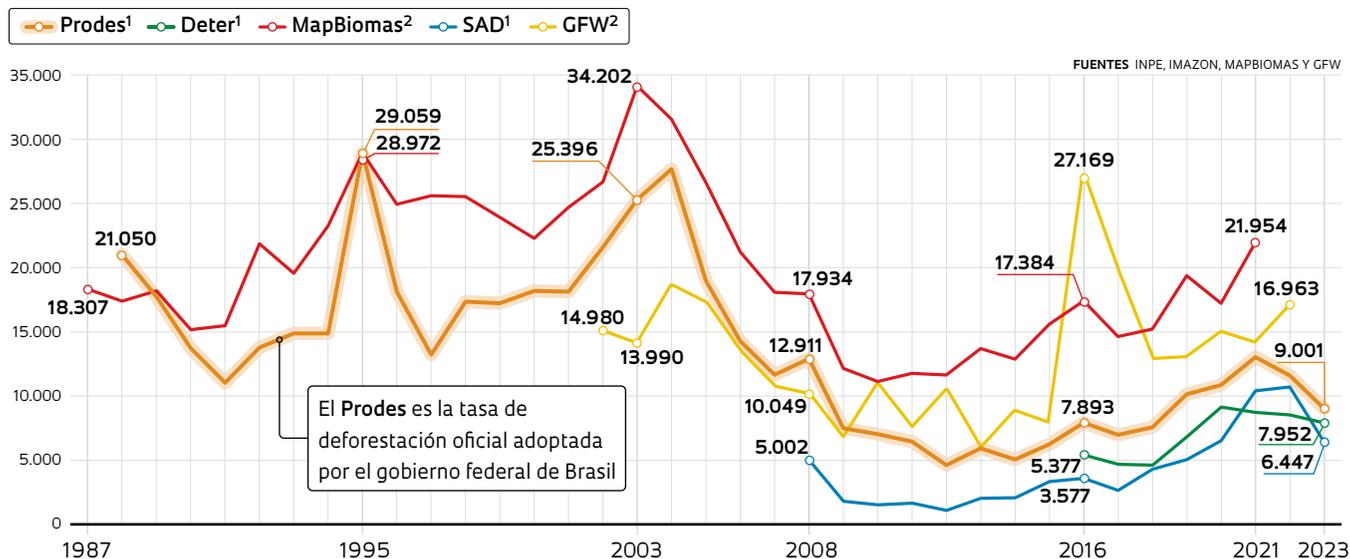
Su objetivo es simple: estimar la tasa anual de deforestación del bosque nativo en la Amazonia Legal. Cabe destacar que la Amazonia Legal – una denominación establecida en 1953 con el propósito de estimular el desarrollo económico en una región que se extiende por nueve estados– abarca la totalidad del bioma amazónico en territorio brasileño, el 37 % del Cerrado y el 40 % del Pantanal.

**E**n Brasil, el bioma de la Amazonia, que alberga a la selva tropical, abarca un área de casi 4,2 millones de km<sup>2</sup>, aproximadamente el 49 % del territorio nacional. Hay una diferencia de unos 800.000 km<sup>2</sup>, más del 9 % de la superficie nacional, entre la extensión de la Amazonia Legal y el bioma Amazonia. “Hay que tener cuidado de no comparar las cifras de deforestación de toda la Amazonia Legal con las del bioma Amazonia”, comenta Almeida.

La tasa anual del Prodes exhibe una peculiaridad temporal. Se rige por el denominado calendario del desmonte, que suele intensificarse durante la época más seca del año. El año Prodes comienza en agosto, con el advenimiento de la sequía, y finaliza en julio del año siguiente. La tasa de 2023 recientemente divulgada corresponde al período que va de agosto de 2022 a julio de este año.

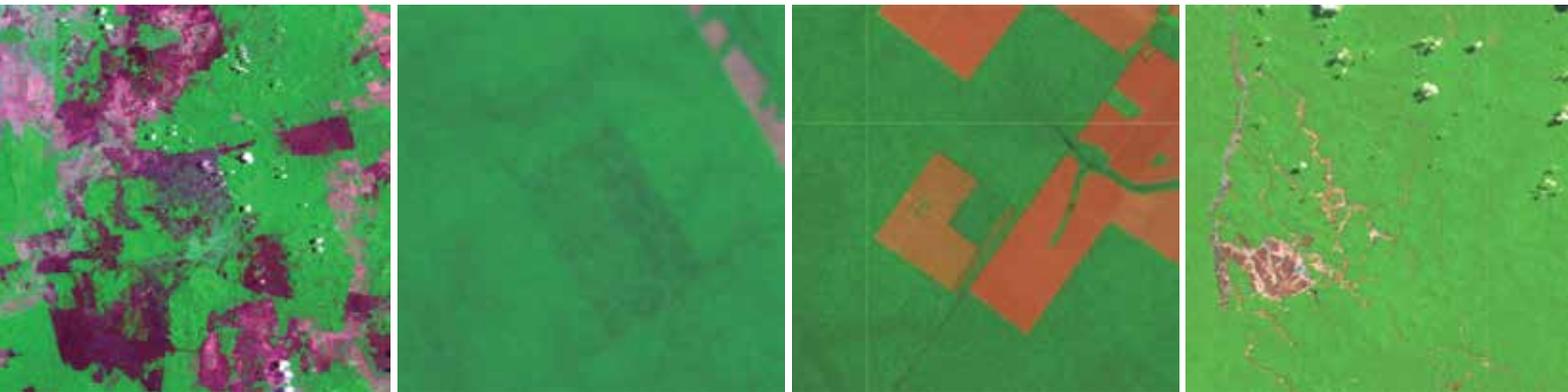
## TODAS LAS CIFRAS DEL DESMONTE

Superficie deforestada anual en km<sup>2</sup> según los cinco sistemas



(1) DATOS CORRESPONDIENTES A LA AMAZONIA LEGAL ENTRE AGOSTO Y JULIO DEL AÑO SIGUIENTE

(2) DATOS CORRESPONDIENTES AL BIOMA AMAZONIA DE ENERO A DICIEMBRE



Patrón de la deforestación causada por diferentes actividades (*de izquierda a derecha*): quemas, área degradada, desmonte y minería

El Prodes registra la deforestación por tala rasa, también llamada tala por clareo, una práctica que se traduce en la eliminación completa de la cubierta forestal de un año a otro. Por lo general, esto sucede para dar paso a la implementación de actividades agropecuarias o al establecimiento de áreas urbanas, o bien a proyectos de centrales hidroeléctricas.

Desde 2022, el Prodes también mide la deforestación que se produce como resultado de la degradación progresiva de la vegetación. Este proceso es lento, más difícil de detectar vía satélite y puede durar varios años. Está asociado a la tala para la extracción selectiva de madera y a las quemas.

Solamente se incluyen en el cálculo de la tasa anual los fragmentos de selva talada que alcanzan el tamaño mínimo de un polígono de 6,25 hectáreas (ha), o sea, 62.500 metros cuadrados (m<sup>2</sup>). Esta superficie equivale al tamaño de algo más de seis canchas de fútbol. Algunos críticos consideran que el tamaño de este polígono es demasiado grande, una limitación que, en teoría, podría estar omitiendo parte del proceso de deforestación.

“En la Amazonia, la deforestación se concreta para establecer grandes propiedades, zonas dedicadas al monocultivo de soja o a la cría de ganado. La apertura de áreas pequeñas no es rentable, porque es un proceso muy costoso y arduo”, explica Câmara, quien no considera una limitación importante cambiar el tamaño del área monitoreada por el Prodes. “Los polígonos de 6,25 ha detectan la mayor parte de la deforestación”. En la actualidad, el Prodes ya supervisa polígonos de deforestación de 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>), pero no los incluye en el cálculo de su tasa anual. Es probable comience a hacerlo en breve.

El sistema utiliza imágenes de cinco satélites: Landsat 8 y 9, de la agencia espacial estadounidense (Nasa) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS); Sentinel, de la Agencia Espacial Europea (ESA, y los CBERS 4 y 4A, un proyecto conjunto de Brasil y China.

Las imágenes de los Landsat constituyen la base de datos principal del sistema. Se necesitan 229 imágenes de satélite de la familia Landsat para cubrir toda la Amazonia Legal. Cada ima-

gen, también llamada escena, cubre una inmensa área de 32.400 km<sup>2</sup>, algo más de cuatro veces el tamaño del Área Metropolitana de São Paulo.

En los sectores de la Amazonia que están cubiertos por nubes cuando son registrados por los Landsat, se utilizan imágenes de los CBERS y del Sentinel para cubrir estas brechas en los registros. En promedio, cada área es observada por un satélite utilizado por el Prodes cada 16 días. En la práctica, el intervalo entre dos registros puede oscilar entre 5 y 26 días.

El punto más pequeño con información dentro de una imagen Landsat equivale a un cuadrado de 30 por 30 metros (0,09 ha o 900 m<sup>2</sup>), algo más grande que dos canchas de baloncesto. Por eso los expertos en teledetección dicen que la resolución espacial (píxel) del Landsat es de 30 metros (m). Por lo tanto, el polígono mínimo de deforestación que toma en cuenta el Prodes, de 6,25 ha, se compone de 69,4 píxeles. Los píxeles de los CBERS y el Sentinel pueden registrar áreas todavía más pequeñas. En los satélites sino-brasileños, la resolución espacial es de 20 metros. En el proyecto europeo, es de 10 metros.

Para calcular la tasa anual de deforestación, el Inpe cuenta con unos 25 técnicos en su sede de la localidad de São José dos Campos que comparan “manualmente” en una computadora las mejores imágenes disponibles de cómo era una zona antes del inicio y al final del año Prodes en curso.

Estos expertos delimitan los nuevos polígonos de deforestación directamente en la pantalla del ordenador. Siguen un patrón de cambio en la cobertura forestal basándose en elementos perceptibles en las imágenes, tales como la tonalidad, la forma, la textura y el contexto de las áreas deforestadas. “Nuestra mano de obra está compuesta por muchos becarios del CNPq. Necesitamos contar con más personal contratado de manera estable”, comenta Almeida.

#### EL DETER

El Deter fue creado 16 años después del Prodes, en un momento de crecimiento de las tasas de deforestación en la Amazonia Legal, como una

herramienta de ayuda en la lucha contra la supresión de la vegetación casi en tiempo real. Emite alertas diarios de deforestación que se envían automáticamente a los organismos ministeriales y a las secretarías estaduais de medio ambiente que se encargan de combatir los desmontes.

También se publican en internet, normalmente los viernes, con una semana de retraso. El Deter publica totales de deforestación, mensuales y anuales, conforme al calendario del año Prodes. Estas cifras suelen mostrar la misma tendencia de deforestación que el Prodes, pero son diferentes debido a disparidades metodológicas.

Su metodología se ha ido mejorando y perfeccionando con el tiempo. De 2004 a 2015, utilizó datos de los satélites Terra, de la Nasa, y CBERS-2b (Brasil-China), con una resolución espacial de 250 m. Con estas imágenes era posible emitir alertas de deforestación para superficies de al menos 25 ha. Sin embargo, no permitían diferenciar entre los sectores totalmente deforestados y los que mostraban una degradación progresiva.

**A** partir de 2015 comenzó a utilizar imágenes de los satélites CBERS-4 y CBERS-4A (Brasil-China) y Amazonia-1, diseñados y operados por el Inpe, con una resolución espacial de entre 56 y 64 metros. “Hoy en día solamente utilizamos satélites con tecnología nacional para proporcionarle imágenes al Deter”, comenta Almeida. Este cambio ha permitido reducir la superficie mínima de los alertas registrados a 3 ha y separarlos en dos tipos: deforestación y degradación. Cada uno o dos días, uno de los tres satélites sobrevuela cada franja de la Amazonia. Esta periodicidad garantiza una vigilancia continua de la región y la emisión de alertas de desmontes casi en tiempo real.

La supresión total o parcial de la vegetación autóctona en una zona sin registro previo de disminución de la cobertura vegetal se considera como un nuevo desmonte. Aunque no sea posible determinar el día exacto en el que se produjo la tala de un fragmento de la selva, la fecha en que

se generó la imagen satelital queda asociada al evento en los registros del sistema.

La identificación de nuevas áreas se hace a diario manualmente, como en el Prodes, pero interviene otro equipo de expertos. Diez técnicos del Deter trabajan en la unidad del Inpe en Belém [capital del estado de Pará] y analizan las imágenes en la pantalla de la computadora. Los alertas de deforestación se separan en las categorías de tala rasa, deforestación con vegetación, y deforestación por actividades de minería. Los alertas de degradación se clasifican como tala selectiva geométrica, tala selectiva desordenada y cicatrices de incendios forestales.

Merced a este tipo de abordaje, el sistema es capaz de diferenciar las perturbaciones naturales de las provocadas por acciones humanas. Las del primer tipo suelen presentar formas irregulares y no lineales, mientras que las del segundo exhiben contornos geométricos y lineales.

#### EL SAD

Con sede en Belém, el Imazon creó en 2008 el Sistema de Alerta de Desmontes (SAD). Su propósito es monitorear mensualmente la supresión de la vegetación autóctona y la degradación forestal en la Amazonia Legal para entender su dinámica y sus tendencias. “El hecho de contar con sistemas alternativos al Prodes/Deter brinda seguridad y autonomía a la sociedad civil si se produjera una falla o una discontinuidad en estas iniciativas del Inpe”, comenta Carlos Souza Jr., del Imazon.

El sistema registra la tala rasa de la selva y la degradación de la vegetación natural en zonas mayores que 1 ha. Utiliza imágenes de los satélites estadounidenses Landsat 8 y 9 y de los europeos Sentinel 1A y 1B (ambos con píxeles de 20 m) y Sentinel 2A y 2B (con píxeles de 10 m). Cada punto de la Amazonia es escaneado por alguno de los satélites con un intervalo de 5 a 8 días.

El análisis de las imágenes se hace inicialmente en forma automática mediante la plataforma Google Earth Engine, pero luego es validado por expertos antes del registro de los datos. El SAD publica estadísticas mensuales de deforestación para toda la Amazonia y los estados que la com-

Evolución de la deforestación en una región de la Amazonia brasileña a lo largo de casi 20 años

100 km



# LOS SISTEMAS QUE MONITOREAN LA SELVA

Cinco de las principales iniciativas que producen datos sobre la deforestación en la Amazonia

	Prodes – Inpe	Deter – Inpe	SAD – Imazon	MapBiomias	GFW
 <b>Creación</b>	1988	2004, con un cambio de la metodología en 2016	2008	2015	1997
 <b>Objetivo principal</b>	Estimación de la tasa anual oficial de desmonte del bosque nativo en la Amazonia Legal. Calcula la deforestación entre el 1º de agosto y el 31 de julio del año siguiente	Divulgación diaria, casi en tiempo real, de alertas de desmonte con el propósito de orientar las acciones de inspección ambiental	Monitoreo mensual del desmonte y la degradación forestal para entender su dinámica y sus tendencias	Mapeo anual del uso y la cobertura del suelo y, a partir de estos datos, estimación de la deforestación	Realiza un monitoreo de los cambios en el uso del suelo por desmontes y quemas, especialmente en las selvas tropicales
 <b>Tipo de deforestación medida</b>	Tala rasa, eliminación completa de la cobertura forestal de un año a otro. Desde 2022 contabiliza oficialmente la degradación progresiva de la vegetación primaria, un proceso más lento que también conduce a la pérdida de los bosques	Tala rasa y degradación progresiva	Tala rasa y degradación de la vegetación	Supresión del bosque primario y secundario	Registra el dosel por encima de los 5 metros. También detecta incendios sin tala
 <b>Superficie mínima monitoreada</b>	1 hectárea (ha), pero a los fines del cálculo de la tasa de deforestación, solamente se contabilizan los polígonos de más de 6,25 ha	3 ha	1 ha	1 ha	0,09 ha
 <b>Fuente de las imágenes</b>	Satélites Landsat 8 y 9, de la Nasa, Sentinel 2, de la ESA, y CBERS 4 y 4A, de Brasil/China. Los Landsat constituyen la base del sistema. Su píxel es de 30 metros (m). El del CBERS es de 20 m, y el del Sentinel, de 10 m	Satélites CBERS-4 y 4A y Amazonia-1 (Brasil), con una resolución espacial de 56 a 64 m. Cada uno o dos días, uno de los tres satélites sobrevuela cada franja de la Amazonia	Satélites Landsat 8 y 9 y Sentinel 1A y 1B (píxel de 20 m) y Sentinel 2A y 2B (píxel de 10 m). Cada franja de la Amazonia es registrada por alguno de los satélites con un intervalo de entre 5 y 8 días	Landsat, con una resolución espacial de 30 m, para el cálculo de la deforestación	Familia de satélites Landsat
 <b>Metodología</b>	Los técnicos del Inpe comparan por computadora las mejores imágenes disponibles de un área antes del comienzo y al final del año Prodes. Delimitan los nuevos polígonos de desmonte en la pantalla del ordenador. La tasa estimada es publicada entre finales de noviembre y diciembre	La supresión total o parcial de la vegetación autóctona en un área sin registro previo se considera como desmonte nuevo. La detección de las áreas se hace diariamente en forma manual. El sistema distingue las perturbaciones naturales de las provocadas por el hombre	Procesamiento automático de las imágenes, pero validado por expertos antes de cerrar los datos. Divulga datos de deforestación mensuales	Procesamiento automático de las imágenes en Google Earth. Divulga datos anuales del desmonte	Procesamiento automático de las imágenes. Divulga una vez al año los datos consolidados de deforestación
 <b>Limitaciones</b>	Las nubes suelen impedir la producción de buenas imágenes en el 5 % de las áreas. No mide la supresión del bosque secundario, un tipo de vegetación que crece espontáneamente en las áreas deforestadas abandonadas	Las mismas del Prodes	Las nubes dificultan la captación de imágenes y no mide la desaparición de la vegetación secundaria	El trabajo totalmente automatizado es proclive a incurrir en errores de clasificación	El trabajo automatizado es susceptible de incurrir en errores de clasificación. No diferencia si la caída de un árbol fue por un proceso natural o antrópico

IMÁGENES NASA / LANDSAT INFOGRAFÍA ALEXANDRE AFFONSO / REVISTA PESQUISA FAPESP



ponen y también permite calcular una tasa de deforestación anual. “Normalmente, nuestros datos representan del 70 % al 80 % de las cifras registradas por el Prodes, un resultado que consideramos muy bueno dadas las diferencias metodológicas”, comenta Souza Jr.

#### LA RED MAPBIOMAS

En 2015, la red MapBiomias comenzó a producir mapas y datos sobre la evolución del uso de la tierra en Brasil (vegetación existente, actividades agropecuarias o estructura urbana) basados en imágenes obtenidas por teledetección analizadas automáticamente en la plataforma Google Earth Engine. A partir de este trabajo, pudo calcularse una tasa anual de deforestación para todos los biomas nacionales, incluida la Amazonia.

Hace cuatro años, la red –una iniciativa del Observatório do Clima, una organización no gubernamental (ONG) que agrupa a universidades, empresas tecnológicas y entidades de la sociedad civil brasileña– lanzó un proyecto específico para realizar un seguimiento de la supresión de la vegetación nativa en todo el territorio nacional. Se trata del MapBiomias Alerta, que ratifica y perfecciona los alertas de deforestación emitidos por otros sistemas, como el Deter y el SAD, y elabora un dictamen público de cada área con su vegetación suprimida.

Estos datos son publicados semanalmente por MapBiomias Alerta y, una vez al año, se recopilan en el *Relatório do desmatamento* (RAD) [Informe de la deforestación]. “A pesar de su nombre, el MapBiomias Alerta no es un sistema que alerte sobre la deforestación en curso”, explica el geógrafo Marcos Rosa, coordinador técnico del MapBio-

mas. “Lo que hace es confirmar con imágenes de alta resolución que en una zona determinada se han producido desmontes y coteja esta información con los datos públicos para clasificar a esta deforestación y elaborar un dictamen.”

Cuando existen evidencias suficientes de que la vegetación fue efectivamente eliminada, el MapBiomias utiliza imágenes de teledetección de la red satelital privada Planet. Según la empresa estadounidense, cualquier punto del planeta es registrado diariamente por alguno de sus 200 satélites, cuya resolución espacial es de tan solo 3,7 m. En otras palabras, el área más pequeña visible en una imagen Planet abarca aproximadamente 14 m<sup>2</sup>, el tamaño de una habitación de una casa.

Cada alerta validado y perfeccionado produce un informe con imágenes en alta resolución, previas y posteriores al desmonte. El sistema del MapBiomias también permite comparar la información geográfica de la zona con vegetación eliminada con los datos de diversas bases de datos públicas, tales como el Catastro Ambiental Rural (CAR) y el Sistema de Gestión Territorial (Sigef). “De esta manera, podemos incluir en el dictamen información sobre el área deforestada e inferir indicios de ilegalidad”, comenta Rosa.

#### GFW

Existen proyectos internacionales que también divulgan datos regularmente acerca del desmonte en la Amazonia brasileña. La iniciativa de mayor impacto es probablemente Global Forest Watch (GFW), coordinada por investigadores de la Universidad de Maryland (EE. UU.). Con financiación del World Resources Institute (WRI), una organización no gubernamental con sede en la capital estadounidense, GFW realiza un seguimiento del uso del suelo y la eliminación de zonas arboladas desde 1997, particularmente en selvas tropicales, como en el caso de la Amazonia.

La iniciativa utiliza los registros de teledetección de los Landsat y adopta como superficie mínima de deforestación registrada la resolución espacial mínima de estos satélites: 1 píxel de una imagen Landsat, de 0,09 ha. El procesamiento de la información está automatizado.

“El sistema de observación se centra en las copas de los árboles que superan los 5 m. Capta la tala de árboles y también los incendios forestales sin tala”, dice el geógrafo Jefferson Ferreira, coordinador del programa forestal del WRI en Brasil. “Muestra la pérdida de la cubierta forestal, que puede deberse a los desmontes o no”. El GFW publica una tasa anual de la deforestación en la Amazonia, calculada entre enero y diciembre.

#### LAS LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS

No existe un sistema de seguimiento de la deforestación perfecto. Los registros de teledetección

Áreas de selva preservada y deforestada cerca del río Capim, en el estado de Pará, en 2022





Una imagen satelital de 2018 que muestra la región adyacente al río Amazonas cubierta de nubes, característica que dificulta el mapeo de la selva por teledetección

2

suministrados por los satélites, que generalmente captan imágenes en las frecuencias del infrarrojo y de la luz visible, tropiezan con un problema habitual: una nube que se interpone entre el campo de visión de sus sensores en el momento de obtener una toma puede generar una imagen de escaso o ningún valor. De ahí la importancia de la redundancia de datos y de trabajar con imágenes de más de un satélite.

El uso de radares instalados en satélites, que trabajan con frecuencias del rango de las microondas, puede mitigar este problema. Su observación no se ve obstaculizada por la nubosidad y puede realizarse tanto de día como de noche. “El satélite CBERS 6 contará con tecnología de radar en su instrumental”, dice Galvão.

Aunque es más ágil y barato, el análisis totalmente automatizado de los polígonos de deforestación puede pasar por alto alguna forma de supresión de la vegetación que un ojo humano avezado advertiría, o generar alertas erróneas. Es importante conocer el contexto histórico y geográfico del lugar en el que se está produciendo la aparente deforestación”, comenta Câmara. “En ocasiones, los sistemas automáticos pueden interpretar la imagen de una vega fluvial en la Amazonia, tomada durante la época de crecidas, como un indicio de supresión de la vegetación. Pero se trata de una conclusión errónea”. La imagen de una llanura aluvial inundada se asemeja a la de un tramo de selva talada. Pero basta con observar una imagen posterior de la misma zona durante el período de sequía para constatar que la vegetación sigue estando allí.

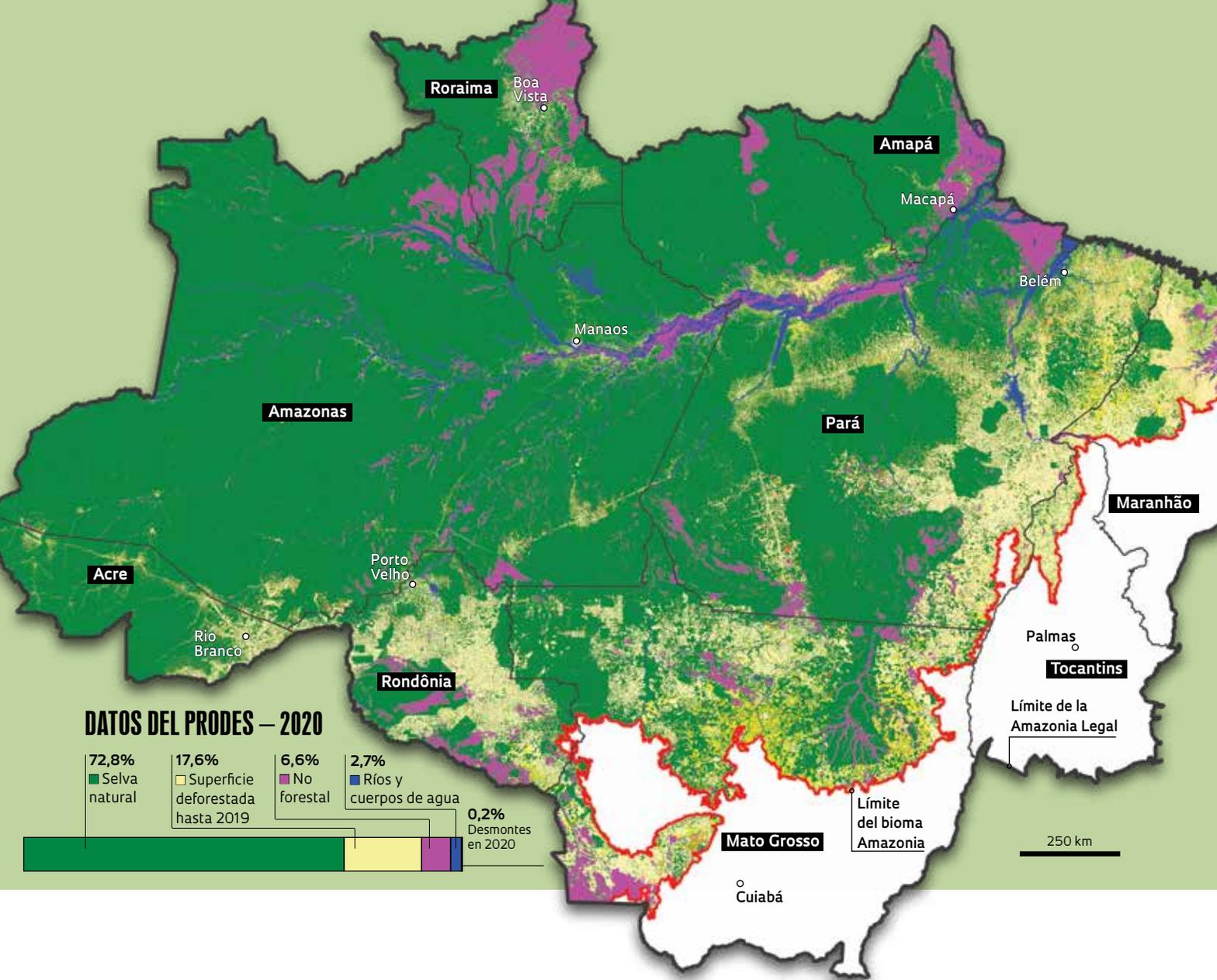
Pese a su postura crítica, Câmara aboga por la adopción de técnicas de aprendizaje automático como ayuda para el trabajo de monitoreo por teledetección en la Amazonia. En 2014, obtuvo el

apoyo del programa eScience de la FAPESP para llevar adelante un proyecto de investigación sobre el uso de megadatos de satélites para la clasificación del uso y la cobertura del suelo con la ayuda de métodos de aprendizaje automático.

Con base en este proyecto, el experto en teledetección consiguió financiación de otras fuentes para el desarrollo del *software* libre *Sits* (*satellite image time series analysis*, o análisis de series temporales de imágenes satelitales), actualmente en su etapa final de pruebas para, eventualmente, sustituir al Prodes. Según Câmara, la adopción de métodos en el estado del arte del campo del aprendizaje profundo permite obtener una concordancia del 95 % entre la interpretación visual de las imágenes y la realizada por los algoritmos.

Nunca hubo tanta información sobre la dinámica de la deforestación en la Amazonia, un elemento necesario para la implementación de políticas públicas a favor de la gestión y la preservación de la selva. “Todo sistema de monitorización lleva a que los gestores y la sociedad en su conjunto miren el problema de una manera diferente. Hoy en día somos conscientes de la magnitud de los desmontes, dónde se están produciendo y a qué ritmo. A veces incluso podemos identificar quiénes están deforestando”, comenta la geógrafa Ane Alencar, directora de ciencia del Instituto de Investigaciones Ambientales de la Amazonia (Ipam). El gran desafío reside en entender el nivel de ilegalidad del desmonte y emprender acciones más ágiles en materia de inspección, embargo e incluso restricciones de acceso al crédito [para quienes eliminan la vegetación autóctona]”. ■

El proyecto consultado para la elaboración de este artículo figura en la versión *online* de la revista.



# EL REGRESO DEL TERRACLASS

Embrapa y el Inpe reanudan el mapeo del uso y la cobertura del suelo en la Amazonia, donde el 14 % de la superficie está ocupado por pasturas y cultivos agrícolas

Marcos Pivetta

¿Cuál es el destino de las áreas deforestadas en la Amazonia Legal? En 2008, el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) y la estatal Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) lanzaron el proyecto Terra-Class, con el propósito de inventariar qué tipo de uso se había hecho de las zonas en donde se taló la vegetación natural. Con base en la localización y la extensión de la deforestación detectada por el sistema Prodes, los equipos de ambas organizaciones utilizaron técnicas de teledetección para averiguar si la selva había dado paso a cultivos agrícolas, campos de apacentamiento o bien a algo bastante más raro: zonas urbanas y otras formas de ocupación.

La iniciativa produjo radiografías de la Amazonia Legal correspondientes a cinco años (2004, 2008, 2010, 2012 y 2014).



São Luís

En los últimos años, debido a la falta de fondos y de personal, el TerraClass dejó de realizar sus relevamientos. Pero ahora ha reanudado su labor. Una nueva versión del proyecto, financiada por el Centro de Gestión y Operaciones del Sistema de Protección de la Amazonia (Censipam), del Ministerio de Defensa de Brasil, recientemente ha hecho públicos los datos del uso de la tierra en 2020. Ha habido cambios en la metodología, por lo que aún no ha sido posible comparar la información de 2020 con las de las ediciones anteriores.

En su abordaje inicial, el TerraClass procesaba y analizaba los datos referentes a la Amazonia Legal. Esta región abarca unos 5 millones de kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) y comprende toda la selva amazónica y parte de los biomas brasileños del Cerrado y el Pantanal. La iniciativa ha comenzado ahora a generar información específica sobre el bioma amazónico, unos 800.000 km<sup>2</sup> menor que la Amazonia Legal.

Entre otros motivos, la modificación se debe a la existencia desde 2018 de un TerraClass para el bioma del Cerrado [la sabana tropical brasileña] una de las mayores fronteras agropecuarias del país. De este modo, no hay superposición ni redundancia en las áreas cubiertas por las iniciativas, que ahora se centran en los dos mayores ecosistemas brasileños, que comprenden más del 70 % del territorio nacional.

“Estamos completando el traslado de los datos de los anteriores TerraClass a este nuevo formato”, comenta el agrónomo Júlio César Dalla Mora Esquerdo, de Embrapa Agricultura Digital, de Campinas, uno de los coordinadores del proyecto. “En breve también tendremos a disposición los datos de 2022”. La meta también incluye una recapitulación de los datos del pasado para poner a disposición las ediciones del mapeo del uso y la cobertura de la tierra correspondientes a 2016 y 2018, período en el que el TerraClass Amazonia dejó de hacerse.

Con el apoyo del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), se creó también el TerraClass Brasil, para mapear el uso del suelo en todos los biomas nacionales. “El conocimiento de la dinámica territorial nacional potenciará la sinergia entre las políticas de desarrollo económico, social y ambiental”, dice el Investigador Alexandre Coutinho, de Embrapa Agricultura Digital.

Ganado vacuno delante de una zona de selva degradada incendiada en Novo Progresso, estado de Pará, en agosto de 2019



Según los datos de 2020, el 72,8 % del bioma Amazonia estaba ocupado por bosques nativos y el 3,7 % por bosques secundarios: áreas deforestadas abandonadas en proceso de regeneración. La parte deforestada sumaba un 17,6 % y estaba casi en su totalidad ocupada por la ganadería y los cultivos agrícolas. Las pasturas y los cultivos de soja, mezclados con los de maíz o algodón, ocupaban alrededor de un 14 % de la superficie de la Amazonia. Los campos para el pastoreo del ganado abarcaban una superficie casi nueve veces mayor que las plantaciones. Las zonas clasificadas como no forestales –compuetas mayormente por vegetación no arbórea y, en menor medida, por sectores urbanizados– representaban el 6,7 % del bioma. Los ríos y otros cuerpos de agua cubrían el 2,7 % del territorio amazónico.

El TerraClass también señalaba que en 2020 había sido talado el 0,2 % de la superficie de la Amazonia, algo así como 10.000 km<sup>2</sup> de selva. “En el momento en que se produce el desmonte, no sabemos cuál será el uso que se le dará al terreno”, comenta el agrónomo Júlio César Dalla Mora Esquerdo, otro de los investigadores de Embrapa Agricultura Digital participante en el proyecto. “Por eso no tenemos cómo determinar cuál será el uso inmediato de esas tierras”.

Las cifras del TerraClass 2020 son similares a las publicadas por las últimas prospecciones del MapBiomias, una iniciativa del Observatório do Clima, una organización no gubernamental (ONG) que agrupa a universidades, empresas tecnológicas y organizaciones de la sociedad civil brasileña. Según este inventario, el 15,5 % del territorio del bioma de la Amazonia, aproximadamente 650.000 km<sup>2</sup>, estaba ocupado en 2022 por explotaciones agropecuarias. Desde 1988, la

superficie ocupada por las pasturas y los cultivos agrícolas ha aumentado 4,6 veces.

Un estudio realizado por investigadores del Inpe publicado en 2020 en la revista *Acta Amazônica*, comparó registros de mapeos antiguos del uso y cobertura del suelo en el bioma de la Amazonia de TerraClass y MapBiomias. La conclusión principal del estudio fue que a pesar de las diferencias metodológicas, la concordancia de los resultados de ambas iniciativas se ubicó entre un 87,4 % y un 92 %.

#### LA INICIATIVA AMAZÔNIA+10

El uso del suelo es uno de los principales temas de interés de la Iniciativa Amazônia+10, sumado a temas relacionados con la biodiversidad, el cambio climático, la bioeconomía, la biotecnología y la mejora de las condiciones de vida de la población amazónica. Este programa, lanzado en julio del año pasado, es coordinado por el Consejo Nacional de Fundaciones de Apoyo a la Investigación Científica de los Estados Brasileños (Confap) y por el Consejo Nacional de Secretarios para Asuntos de Ciencia, Tecnología e Innovación (Consecti) de los estados, y también cuenta con la colaboración del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq).

A finales del año pasado, la iniciativa seleccionó 39 propuestas de 18 estados y del Distrito Federal. Las Fundaciones de Apoyo a la Investigación Científica de los Estados Brasileños (FAP) destinaron 41,9 millones de reales a los proyectos seleccionados en la primera convocatoria del programa. En noviembre de este año se lanzó el segundo pliego de concurso de proyectos de Amazônia+10, con una previsión presupuestaria de 59,2 millones de reales y centrado en la financiación de expediciones científicas a la región. ■

# UN POETA DE FRONTERAS

El presidente de la Biblioteca Nacional de Brasil habla fluidamente 22 lenguas y traduce autores de idiomas tales como el persa, el ruso y el turco

Christina Queiroz | RETRATO Ana Carolina Fernandes

**P**rofesor titular de literatura comparada de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), el poeta, escritor, memorialista y ensayista carioca Marco Americo Lucchesi asumió la presidencia de la Fundación Biblioteca Nacional (FBN) de Brasil en 2023 con la misión de volver más transparente y accesible a la institución, además de modernizar su centenaria colección, compuesta por más de 10 millones de piezas. Parte de su labor consiste en incorporar una mirada sensible a las cuestiones identitarias en la lectura del material producido en contextos coloniales, expandir el espacio físico disponible para almacenar las colecciones y ampliar el acceso a documentos digitalizados.

Lucchesi, quien domina 22 idiomas, entre ellos el persa, el latín, el árabe y el ruso, tuvo un contacto temprano con la literatura cuando, siendo un niño, escuchaba a su padre y a su abuela recitar versos de poetas italianos como Dante Alighieri (1265-1321). Graduado en historia, viajó por el mundo y presidió la Academia Brasileña de Letras (ABL) entre 2018 y 2021. Tradujo autores tales como los italianos Umberto Eco (1932-2016) y Primo Levi (1919-1987), como así también el persa Yalāl ad-Dīn Muhammad Rūmī (1207-1273) y el pakistaní Muhammad Iqbal (1877-1938).

En esta entrevista concedida a *Pesquisa FAPESP* en el último piso de la Biblioteca Nacional, en Río de Janeiro, Lucchesi rechazó las formalidades y pidió que le dijera Marco. Sonriente y expresivo, habló de sus planes al frente de esa que ocupa el segundo lugar en antigüedad entre las instituciones brasileñas, y propuso reflexiones sobre la importancia de las investigaciones desarrolladas en los campos de la literatura y la historia en el proceso de traducción de autores al portugués.

**EDAD** 59 años

**ESPECIALIDAD**

Literatura comparada y traducción

**INSTITUCIÓN**

Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ)

**ESTUDIOS**

Título de grado en historia por la UFF (1985), maestría (1989) y doctorado (1992) en letras por la UFRJ





### **¿Su primera lengua es el italiano o el portugués?**

Mi infancia fue bilingüe. En casa era como si viviese en una pequeña Italia y la lengua de mis primeros años fue el italiano. En familia no hablábamos portugués porque hubiera sido algo artificial. Crecí en los horizontes de Brasil. En la escuela, con mis amigos y en público siempre hablaba en portugués. La experiencia de nacer bilingüe es diferente a la de aprender otros idiomas más adelante. El tener dos idiomas formando parte de mi universo de formación ha sido una experiencia que me marcó.

### **¿Por qué emigraron a Brasil sus padres?**

Mis padres, Elena Dati y Egidio Lucchesi, vinieron a Brasil invitados por el periodista y empresario Assis Chateaubriand [1892-1968]. Mi papá trabajaba como ingeniero de antenas de radio y televisión. Era muy talentoso en su profesión e inventó distintos sistemas por los que ganó premios. Había conocido a Chateaubriand cuando era radiotelegrafista en un buque de la marina mercante italiana. En los años 1950, recibió una invitación para trabajar en el sistema de radio del empresario. Estaba de novio con mi madre y se casaron por poder. Años más tarde arribó a Río de Janeiro mi abuela materna. Ellos nunca se sintieron extranjeros aquí, pese a que este era otro mundo comparado con Massarosa, su ciudad de origen, un pequeño pueblo en el norte de la región de Toscana. Para ellos, Brasil era un horizonte de sueños, de paz y de diálogo, aun con todas sus contradicciones. Yo nací en Copacabana, Río de Janeiro, en 1963. No tengo hermanos ni tuve hijos.

### **¿Recuerda su primer contacto con la literatura?**

Estos primeros contactos se dieron a través de la música, las experiencias orales y las enciclopedias. Mi madre cantaba, tocaba el piano –un instrumento que más tarde hice mío– y sabía varias canciones de cuna. Mi padre amaba a Dante Alighieri. Recitaba de memoria algunos fragmentos del poema narrativo *La Divina Comedia*. Incluso cuando ya estuvo completamente inmerso en el alzhéimer, la única forma posible de comunicación era recitarle unos versos de Dante a medias para que él los completara. Dante fue nuestro nexo. En cambio, mi abuela materna narraba las historias de *Orlando furioso*, el poema

épico de Ludovico Ariosto [1474-1533]. También recuerdo la primera vez que fui por mi cuenta a una librería y compré un libro. Fue en 1972, cuando tenía 8 años. Adquirí la obra *Poemas*, de Gonçalves Dias [1823-1864], en una librería de Niterói. Era una edición de 1968 editada por el crítico Péricles Eugênio da Silva Ramos [1919-1992]. Todavía conservo ese libro para repasar mis registros sentimentales elaborados a los 8 años. En cuanto a Gonçalves Dias, en 2023 también viví un momento emocionante relacionado con este poeta fundamental. El Archivo Judicial del Tribunal de Justicia del Estado de Maranhão descubrió y donó copias a la Biblioteca Nacional de demandas presentadas por Gonçalves Dias, hasta entonces desconocidas. Además de poeta, también fue abogado. La BN está catalogando el material que pronto estará a disposición para su investigación.

### **¿Cómo fue su cercanía con escritores desde muy joven?**

Conocí personalmente a Carlos Drummond de Andrade [1902-1987] a los 21 años, en la fiesta por los 80 años del jurista y escritor Afonso Arinos de Melo

Franco [1905-1990]. Fue una experiencia inolvidable y regresé a mi casa emocionado. Antes de eso solía escribirle cartas a Drummond, y él me las respondía. Otro encuentro significativo fue con el escritor egipcio Naguib Mahfouz [1911-2006] cuando yo tenía 33 años, durante uno de mis viajes a Egipto, en 1996. Ya había sido herido por el grupo extremista islámico Hermandad Musulmana y se encontraba recluido en su casa, pero accedió a recibirme. Le hice muchas preguntas y conversamos durante horas. Pero hubo muchos otros encuentros, antes y después de estos.

### **¿Es cierto que habla 22 idiomas?**

Así es, pero también a mí me cuesta creerlo. En el fondo, creo que es un problema psiquiátrico. Bromas aparte, aún hoy me pregunto: ¿por qué tantas lenguas? Es una exageración, casi una osadía. Pero la sensibilidad para los idiomas ya era algo familiar, especialmente en mi abuelo paterno, al que no llegué a conocer. Él no era judío, pero en la familia cuentan que se lo llevaron al campo de concentración de Mauthausen-Gusen, en Austria, durante la Segunda Guerra Mundial [1939-1945]. Consiguió aprender el alemán rápidamente y huyó. Mi abuelo hablaba cinco o seis idiomas, pero no sé cómo aprendió. También creo que mi contacto con la radio me influenció desde niño y despertó en mí un deseo de comunicarme con otra gente.

### **¿Cómo aprendió tantos idiomas?**

Aprendí español e inglés cuando todavía era un niño. A los 12 años aprendí alemán y francés y, a los 14, fue el turno del ruso. Los otros idiomas los estudié más tarde, como el árabe, que lo aprendí a los 30; una lengua que me permitió circular por diversos países, entre ellos el Líbano, Siria, Egipto y Marruecos, con sus variantes específicas del idioma. Al principio, siempre he tenido clases con profesores y me baso en métodos de aprendizaje. Para los idiomas complejos, como en el caso del árabe, los viajes también son de gran ayuda. No conforme con esta obsesión por aprender idiomas, inventé un lenguaje al que llamé “laputar”, e incluso publiqué una gramática con texto bilingüe, prefacio y glosario. Actualmente ya no estudio tantos idiomas como antes y me he concentrado solamente en aprender ñé’engatú, y escribirlo. El ñé’engatú, o tupí moderno, es una lengua indígena perteneciente a la familia tupí-guaraní.



“  
Cuando mi  
padre quedó  
inmerso en el  
alzhéimer,  
la única forma  
de poder  
comunicarse  
con él era  
recitarle algún  
verso de Dante



Lucchesi hojea una obra rarísima elaborada por un fraile franciscano entre 1445 y 1517

### **¿Cómo pasó de la graduación en historia al campo literario?**

Estudié historia en la Universidad Federal Fluminense [UFF] en la década de 1980, cuando la institución estaba desarrollando sus programas de maestría y doctorado. Era un apasionado de la disciplina y de los autores que proponían reflexiones sobre la cronotopía, es decir, sobre la forma en que se asimilan las relaciones espaciales y temporales en las obras de arte. Ya consideraba a la literatura un espacio fundamental para la consecución de lo que anhelaba, en concreto, escribir poesía, ensayos, novelas y memorias. Entonces, en el posgrado, opté por estudiar literatura comparada, sus contextos históricos, andamiajes teóricos y referencias metodológicas. Hice la maestría y el doctorado en la UFRJ, este último, centrado en Dante. Mi tesis fue publicada en el formato de un libro intitulado “*Nove cartas sobre a Divina comédia*” [Nueve cartas sobre *La divina comédia*, Bazar do Tempo, 2013]. Cada capítulo corresponde a una carta dirigida al lector que propone reflexiones sobre diferentes temas y aspectos de *La*

*divina comédia*, desde el infierno hasta el paraíso. El posdoctorado lo realicé en la Universidad de Colonia (Alemania), en 1994, en el que estudié la filosofía del Renacimiento italiano, en particular, el pensamiento del erudito neoplatónico Marsilio Ficino [1433-1499], quien fue filólogo, médico y filósofo.

### **¿Puede hablarnos de sus intereses de investigación?**

Estudio los sistemas literarios de distintos países, entre ellos de naciones tales como Italia, Irán, Turquía, Grecia y Rusia. Un sistema literario es un concepto que engloba el conjunto de elementos que forman parte de la realidad literaria de cada lugar e incluyen la tradición, los movimientos, las editoriales y las asociaciones, entre otros. En mis estudios busco entender las relaciones entre historia y literatura y los procesos de traducción de distintos autores. He investigado estos diálogos en diferentes proyectos, como en un estudio sobre las fronteras entre ficción y ensayo e historia y literatura partiendo de la obra del escritor italiano contemporáneo Claudio Magris. Tam-

bién investigo las dimensiones éticas de la traducción mediante análisis de los desplazamientos semánticos y culturales que se producen en el paso del texto de partida al texto de llegada.

### **¿Cómo se retroalimentan la actividad de traducción y el trabajo de investigación?**

Esta es una de las cuestiones medulares de la investigación que estaba llevando a cabo con la financiación del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico [CNPq] antes de asumir la presidencia de la BN. El trabajo de un traductor posee un aspecto artesanal, de traducción de cada palabra, pero debe equilibrarse con el conocimiento de la historia y la literatura de cada país, ajustando los sentidos semánticos en función de los contextos en cuestión. El proceso de traducción no ocurre solamente mediante mecanismos de relación entre lenguas y requiere de un conocimiento previo de los sistemas literarios. En otras palabras, la traducción es un campo en el que los aspectos históricos y literarios necesitan combinarse de manera sinfónica. El conocimiento teórico debe ir alineado con el conocimiento práctico de lo que funciona en términos de rimas y métricas. La teoría y la práctica deben corregirse y retroalimentarse permanentemente, y ello supone un gran reto, sobre todo cuando se trata de la traducción de poemas. Estas propuestas han guiado mis trabajos de traducción de autores tales como el poeta y matemático rumano Dan Barbilian [1895-1961], el poeta, teólogo y médico alemán Angelus Silesius [1624-1677] y el poeta ruso Velimir Jlébnikov [1885-1922].

### **¿Por qué es tan difícil traducir poesía?**

La poesía tiene la capacidad de dar saltos, de unir cosas aparentemente disparatadas y congregar lo que parece distante, proporcionando una centella para la comprensión del sentido. Así, desde la imposibilidad del diálogo, el poeta crea la capacidad de horadar bloqueos, de cruzar fronteras, y esta intención debe aparecer en el trabajo de recreación de cada verso. El traductor se inquieta o se aflige, porque debe lidiar con la idea de que no puede más que rozar apenas los sentidos del texto original, siéndole necesario trabajar siempre en el campo de lo imponderable y lo impreciso.

### **¿Cuál ha sido la obra más difícil que ha traducido?**

Empecé a hacer traducciones cuando tenía 15 años y aún hoy en día sigo haciéndolo. Este año, por ejemplo, he tenido que hacer dos traducciones exigentes: *Babel* [Attar Editorial], del poeta turco contemporáneo Tozan Alkan, y *Caderno azul* [editorial Patuá] de Yunus Emre [1238-1328], que traduje del turco antiguo. Me dieron mucho trabajo, porque no solo requirieron del conocimiento de la lengua, sus rimas y métricas, sino también de una adaptación del sistema literario turco, antiguo y moderno, al sistema literario brasileño. Esto significa que tuve que echar mano de mis conocimientos de la historia de cada país y de los referentes teóricos de la filosofía de la traducción.

### **¿De dónde proviene su interés y su relación con autores de Oriente?**

De los 30 a los 50 años, me asaltó una especie de gran añoranza de Oriente, un sentimiento que me inquietó durante décadas. Viajé a muchos lugares, a casi todos los países árabes: Mauritania, Marruecos, Arabia Saudita y varios más. A veces, debido a invitaciones para dictar conferencias o para la presentación de libros, y otras, de vacaciones. En 2022 viajé a Pakistán para brindar una conferencia. Hubiera querido llevar flores a la tumba del poeta y filósofo Muhammad Iqbal, pero no pude porque corrían rumores de un golpe de Estado. Tuve que huir del hotel a las 4 de la madrugada, escoltado por guardias armados hasta los dientes y correr al aeropuerto.

### **¿El saber hablar tantos idiomas le ha abierto puertas más allá del campo de la traducción?**

Me gusta utilizar las lenguas que conozco para abrir espacios de diálogo. Por poner un ejemplo, en 1996 me encontraba en el Líbano y quise visitar un campo de refugiados. Llegué a Sabra y Shatila y un periodista árabe me saludó en inglés. Rápidamente le respondí en árabe. Quedó conmovido y sorprendido, razón por la cual tuve la posibilidad de visitar el campo acompañado de niños, ancianos y mujeres. Fue una experiencia diferente, que me reveló cuán dramática es la vida en esos espacios. Además, me sumé a un grupo en el Consejo Nacional de Justicia para defender el derecho a la lectura en espacios de reclusión. Antes

de la pandemia, solía visitar las cárceles para dar clases en las escuelas que funcionan en estos lugares. En una de ellas, empecé a conversar con un tipo que hablaba en un portugués difícil de entender. Le pregunté cuál era su origen, pero no me respondió. En realidad, fue una pregunta inapropiada, ya que pareció sentirse todavía más excluido: estaba preso y encima, era extranjero. Para tratar de distender la situación, le dije que yo era italiano y acabó respondiéndome que era de Brasov (Rumania). Entonces le dije en rumano: “¿Brasov, en Rumania? ¿Cómo es posible, amigo mío?”. Quedó perplejo al ver que yo hablaba su lengua materna. Al final de la charla me abrazó y me dio un beso en la mejilla.

### **Con base en su experiencia en distintos contextos nacionales y sociales, ¿qué consejos le daría a un joven investigador que desea adentrarse en la vida académica?**

Una de las cosas más importantes es escaparle a la tentación de seguir la carrera por mera vanidad o por la estabilidad que brinda la administración pública. Los jóvenes no deben dejarse embelesar por los cantos de sirenas. Siempre deben ponerse



**¿Por qué hablar tantos idiomas? Es una exageración. La sensibilidad por los idiomas ya existía en mi familia**

en primer plano las grandes cuestiones metafísicas. El segundo punto fundamental es la capacidad de realizar lecturas múltiples y globales, sin prejuicios, metódicamente y sin ideas apresuradas. Debe adoptarse una mirada abierta, ecuménica y evitar los modismos. Hay que tener cuidado con las ideologías mecánicas, los anacronismos, las ilusiones historicistas y saber mirar hacia el pasado sin aprisionamientos. Tenemos que desconfiar del presente y afrontar los retos del futuro. Y no permitir, bajo ningún concepto, que la institución destruya o comprometa nuestra subjetividad. Es una lucha constante y perenne de autorregulación y refinamiento. Los grandes *insights* se relacionan con la estructura de las revoluciones científicas que tienen lugar en lo colectivo, en los embates y en los diálogos, pero el núcleo duro de la subjetividad debe regir la investigación y los intereses académicos.

### **Hablemos de la Biblioteca Nacional. ¿Podría definir qué es esta institución?**

La Biblioteca Nacional es un gran acontecimiento, es soñar despiertos, una métrica de tesoros, una máquina del tiempo y una defensa de lo infinito. Para dar una definición objetiva, una biblioteca nacional es aquella que, por ley, recibe el depósito legal de cuanto se publica en el país: libros, revistas, periódicos, partituras. La BN recibe entre 80.000 y 100.000 libros por año y debe catalogar y preservar todo este material. En época de vacaciones recibimos 7.000 visitantes por día. Se espera que la cifra de accesos digitales supere los 100 millones este año. También trabajamos en colaboración con otras bibliotecas de Latinoamérica a través de la Federación Internacional de Asociaciones e Instituciones Bibliotecarias. La BN de Brasil es reconocida mundialmente por sus actividades de preservación y conservación y ayudamos a instituciones de Bolivia, Ecuador, Uruguay y Paraguay. La BN apunta a entablar colaboraciones con entidades hermanas de este continente que tienen mucho para darle al mundo. También acabamos de celebrar el primer encuentro de la BN con bibliotecas nacionales de países africanos de habla portuguesa.

### **¿Qué secretos esconde la BN? ¿Hay alguna caja cerrada que nunca haya sido abierta?**

No. Lo que seguramente debe haber son

algunas sorpresas de clasificación, es decir, objetos que han sido catalogados erróneamente. En 2011 se encontró una edición desconocida del libro *Mysterium Cosmographicum* [1596], del astrónomo y matemático alemán Johannes Kepler [1571-1630]. Cuando me enteré de la noticia caí de rodillas. En la década de 1950 se identificaron dictámenes de Machado de Assis [1839-1908] que datan del siglo XIX, para el Conservatorio Dramático, en los que el escritor evaluaba si determinada obra debía ser puesta en escena o no. En definitiva, la labor de los investigadores y bibliotecarios puede sacar a la luz muchas sorpresas.

### **¿Recuerda cuándo entró por primera vez a la BN?**

Debo haber tenido 14 o 15 años. Siempre me ha cautivado esta institución. Son muchos tesoros. Hace poco vinieron unos egiptólogos y quedaron asombrados con las fotografías que Pedro II trajo de Egipto. Tenemos la mayor colección de incunables –libros impresos en el siglo XV, antes de Gutenberg– que existe al sur del ecuador. Tenemos la *Biblia de Maguncia* impresa en 1462, como así también obras de Candido Portinari [1903-1962], grabados de Francisco de Goya [1746-1828] y una colección de música considerada como la más importante de América Latina. Una de las grandes joyas de la BN es *De divina proportione*, una obra rarísima de autoría del fraile franciscano y matemático Luca Bartolomeo de Pacioli [1445-1517]. El libro versa sobre la divina proporción desde una perspectiva platónica, y sostiene que la matemática y la geometría constituyen el verdadero lenguaje del universo. Además, la tipografía del libro fue diseñada por Leonardo da Vinci [1452-1519], quien fue su alumno. Este libro estaba destrozado, muy dañado. Algunas partes estaban incluso hechas migajas, y el equipo de preservación de la BN consiguió recuperarlo a partir de un proyecto para la reconstrucción de libros raros. Guardo un inmenso respeto por el personal de la biblioteca.

### **¿Cuáles son los retos que se le presentan a una institución centenaria a la hora de tener que modernizarse y, al mismo tiempo, preservar el pasado?**

Cada generación abre una ventana de su época y recoge los mejores frutos. Todas complementan y revisan una política



## **El traductor debe lidiar con la idea de que no puede más que rozar apenas el sentido del texto original**

de desarrollo de colecciones. El reto de nuestro tiempo es ampliar la biodiversidad. En colaboración con líderes indígenas vamos a repensar una colección de fotografías tomadas por distintos profesionales en una aldea yanomami cercana al municipio de São Gabriel da Cachoeira [Amazonas]. Este año hemos lanzado el Premio Akuli, para reconocer los cantos ancestrales y las narraciones orales de los pueblos originarios, palenqueros o *quilombolas* y ribereños, como parte del Premio Literario que concedemos anualmente. La idea del premio surgió durante las visitas que realicé a aldeas y comunidades *quilombolas* del país. Me di cuenta de que las nuevas generaciones querían reconstruir el tejido social a través de sus narraciones orales y canciones. El Premio Akuli fue el primer paso que dimos con miras a ampliar las estanterías étnicas de la BN, sin menoscabar otras riquezas. Somos ecuménicos. La BN es una institución que no censura, es democrática y acoge una gran pluralidad de libros y voces en su depósito legal.

**La BN ha afrontado problemas vinculados a la falta de mantenimiento de su estructura que han provocado fugas de**

### **agua, fallas en el sistema de climatización y riesgo de incendio. ¿Estos problemas están siendo resueltos?**

Hace diez años, la institución puso en marcha un proyecto para modernizar su sistema de refrigeración y, en 2017, renovó su fachada. En los últimos cinco años se han realizado inversiones para mejorar la seguridad contra incendios, incluyendo elementos arquitectónicos y capacitación del personal. Seguimos teniendo problemas de falta de espacio y contamos con un equipo reducido de trabajadores. La BN no ha dejado de crecer y el espacio físico debe acompañar este avance. Este año hemos recibido una asignación de 23 millones de reales del gobierno federal y 18 millones de reales del Fondo de Derechos Difusos, para iniciar las reformas al anexo de la BN en Porto Maravilha, en el centro de Río de Janeiro. Con estas y otras inversiones, la idea es que el anexo funcione como una biblioteca del siglo XXI. Los fondos se están ampliando con miras a poder solucionar estos problemas, pero es necesario dar pasos seguros, tener transparencia en los gastos y responder ante los organismos de control. Por este motivo, los proyectos no pueden llevarse a la práctica con la rapidez que desearíamos.

### **¿Qué es una biblioteca del siglo XXI?**

Es una institución sin muros, transparente y accesible. Estamos transitando un proceso cada vez más intenso de digitalización de las colecciones. Hoy en día, llevamos un registro de 8 millones de accesos mensuales a nuestra base de datos y pretendemos aumentar la cantidad de documentos digitalizados para que puedan consultarlos investigadores de todo el mundo. No hay que confundirse: lo digital no es enemigo de lo analógico, como se pensaba en la década de 1990. Tenemos que hacer un doble trabajo de preservación y mantenimiento de ambos patrimonios, desde el punto de vista de su organización. Por otra parte, tenemos que ampliar el acceso a la información, de manera tal que la BN no sea un mero repositorio, sino una gran encrucijada de saberes. Por último, nos enfrentamos al desafío de expandir el desarrollo de investigaciones que nos permitan profundizar la comprensión de determinadas piezas de nuestra colección que aún no han sido muy estudiadas, entre ellas el repositorio de historietas, que es uno de los más grandes del mundo. ■

# EXPANSIÓN DE OPORTUNIDADES

El informe *Relatório de atividades* de la FAPESP del año 2022 muestra una ampliación de financiamiento de la investigación científica con miras a recuperarse de las pérdidas que ocasionó la pandemia

Fabício Marques

La Fundación de Apoyo a la Investigación Científica del Estado de São Paulo invirtió el año pasado un monto de 1.182.639.805 reales para financiar 20.709 proyectos de investigación. Dicho desembolso superó por un 16,7 % al de 2021 y la cantidad de proyectos contratados en el período creció un 27,8 %. Los ingresos de la Fundación totalizaron 2.214.740.885 reales, un 24 % más que los del año precedente: las transferencias efectuadas por el Tesoro estadual aumentaron un 12,6 %, alcanzando los 1.907.892.438 reales, y también se incrementaron en un 235 % los fondos procedentes de otras fuentes, que ascendieron a 306.848.447 reales. Este balance está consignado en el informe *Relatório de atividades FAPESP 2022*, disponible para su consulta en el sitio web de la Fundación, en el que también se pueden cotejar los datos de financiación anuales de la institución desde 1962, cuando la FAPESP inició sus actividades.

Los ingresos de la Fundación están compuestos por el 1 % de la recaudación tributaria del estado de São Paulo, un giro que efectúa cada mes el Tesoro estadual conforme a lo previsto por la Constitución paulista, y por fondos procedentes de otras fuentes, entre ellos los convenios con instituciones y empresas para la financiación conjunta de investigaciones. Uno de los aspectos más destacados de 2022 fueron las inversiones en Investigaciones para el Avance del Conocimiento –una categoría que incluye a los grandes proyectos de investigación básica y aplicada, tales como Proyectos Temáticos, Jóvenes Investigadores en

Centros Emergentes o los Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid)– que acapararon el 53,5 % de las erogaciones de la Fundación. Sus aportes aumentaron de 563,6 millones de reales en 2021 a 633 millones el año pasado. “Este es el resultado de los esfuerzos de la Fundación con miras a ampliar las oportunidades de financiación destinadas a los jóvenes investigadores a través de iniciativas tales como el Proyecto Generación y el Proyecto Inicial, así como el aumento de 48 a 60 meses de vigencia de la Beca Joven Investigador, además de la contratación de 54 nuevos Proyectos Temáticos en el mismo período”, explicó el presidente del Consejo Superior de la FAPESP, Marco Antonio Zago, en el acto de presentación del informe.

La inversión en becas, en sus diversas modalidades, creció más de un 20 % en comparación con 2021, y la formación de recursos humanos representó el 18 % de las erogaciones de la Fundación. En la categoría Apoyo a la Infraestructura de Investigación, el desembolso de 130 millones de reales correspondió a un 11 % de las subvenciones, superior por un punto a las de 2021. Ello se justifica por la apertura, en 2022, de tres llamados a la presentación de propuestas para la adquisición de grandes equipos multiusuarios, con inversiones previstas por 450 millones de reales. En septiembre de 2023, se publicó un nuevo pliego de concurso, por un monto de 200 millones de reales, en este caso para la adquisición de equipos de menor porte.

En otras líneas, la financiación se mantuvo estable. Este fue el caso de las inversiones en Investigación para la Innovación,

## EVOLUCIÓN ANUAL DE LOS DESEMBOLSOS (EN REALES)

1.137 millones  
2016

1.059 millones  
2017

1.217 millones  
2018

1.257 millones  
2019

que abarca programas tales como Investigación en Asociación para la Innovación Tecnológica (Pite), Investigación Innovadora en Pequeñas Empresas (Pipe) y Centros de Investigaciones en Ingeniería/Centros de Investigación Aplicada (CPE/CPA), que responden por un 8,5 % del total, y de los gastos en la modalidad de Investigación en Temas Estratégicos, que incluye, entre otros, esfuerzos de investigación en temas tales como biodiversidad, bioenergía y cambios climáticos, como así también las erogaciones en Difusión, Mapeo y Evaluación de las Investigaciones (un 2 %).

Aunque esta instancia de financiación en ascenso es fruto de la recuperación económica posterior a la pandemia, algunas repercusiones de la emergencia sanitaria que llevó al cierre temporal de los laboratorios y a la reducción de las actividades presenciales en institutos y universidades siguen estando presentes en otros indicadores. La producción científica de los investigadores del estado de São Paulo cayó de 30.600 artículos publicados en 2021 a 25.100 en 2022, pero como Brasil registró una merma equiparable, su participación dentro del total nacional se mantuvo en un 41,9 %. También se verificó, por ejemplo, una reducción de alrededor de un 40 % en la presentación de nuevos proyectos a la Fundación en comparación con el período anterior a la eclosión del covid-19.

Para compensar la disminución de la demanda espontánea de fondos, diversas iniciativas están apuntando a aumentar las inversiones en proyectos a mediano y largo plazo como una manera de estimular las actividades de investigación e innovación en el estado. El año pasado, la FAPESP divulgó los resultados del llamado a concurso en el que se seleccionaron otros 17 nuevos Centros de Ciencia para el Desarrollo (CCD) –aparte de los 11 ya instalados–, creados con miras a concretar una integración entre los investigadores de universidades e institutos estaduais de investigación y los gestores de organismos públicos en proyectos orientados a dar solución a problemas específicos de relevancia social o económica en el estado de São Paulo. “Tenemos grandes problemas en las diversas se-

## POR ESTRATEGIA DE FINANCIACIÓN

**53,5 %** Investigación para el Avance del Conocimiento (básica y aplicada)

**18 %** Formación de Recursos Humanos en C+T

**11 %** Apoyo a la Infraestructura de Investigación

**8,5 %** Investigación para la Innovación

**7 %** Investigaciones en Temas Estratégicos

**2 %** Difusión, Mapeo y Evaluación de las Investigaciones

La FAPESP desembolsó **1.182.639.805 reales** para financiar **20.709 proyectos** de investigación en 2022

## POR ÁREAS DEL CONOCIMIENTO

**26,2 %** Salud

**14,2 %** Biología

**10,2 %** Interdisciplinaria

**10,2 %** Ingeniería

**9,3 %** Ciencias Humanas y Sociales

**6,4 %** Química

**6,3 %** Agronomía y Veterinaria

**5,3 %** Física

**4,4 %** Ciencia e Ingeniería de la Computación

**3,1 %** Geociencias

**2,0 %** Matemática y Estadística

**1,1 %** Astronomía y Ciencia Espacial

**0,7 %** Arquitectura y Urbanismo

**0,5 %** Economía y Administración

FUENTE: INFORME DE ACTIVIDADES FAPESP 2022

**978 millones**  
2020

**1.013 millones**  
2021

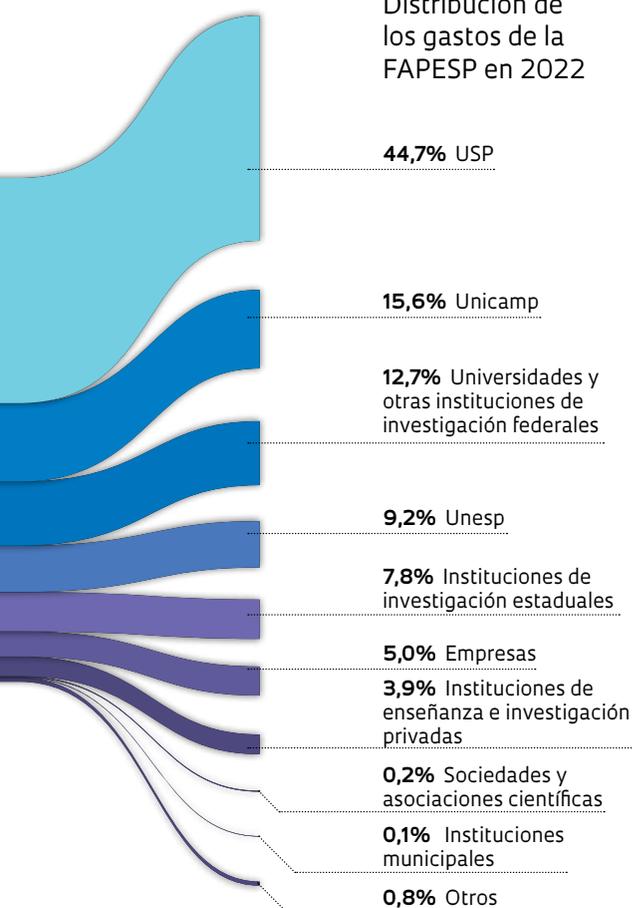
**1.182 millones**  
2022

## EL SISTEMA PAULISTA DE CT+I



### EL DESEMBOLO POR INSTITUCIÓN

Distribución de los gastos de la FAPESP en 2022



FUENTE: RELATÓRIO DE ATIVIDADES FAPESP 2022

cretarías del estado y esta es una forma de escuchar a quienes están al frente de la gestión pública, adecuando los temas de investigación y ofreciendo llamados a concurso que aborden los problemas que afrontan las secretarías para la gestión de políticas públicas”, explicó Carlos Américo Pacheco, director presidente del Consejo Técnico Administrativo de la FAPESP, al anunciar las propuestas ganadoras. Los nuevos centros desarrollarán investigaciones sobre temas tales como biofármacos, innovación en políticas públicas urbanas, innovación tecnológica para emergencias sanitarias, enfermedades humanas y animales y perfeccionamiento de vacunas, entre otros.

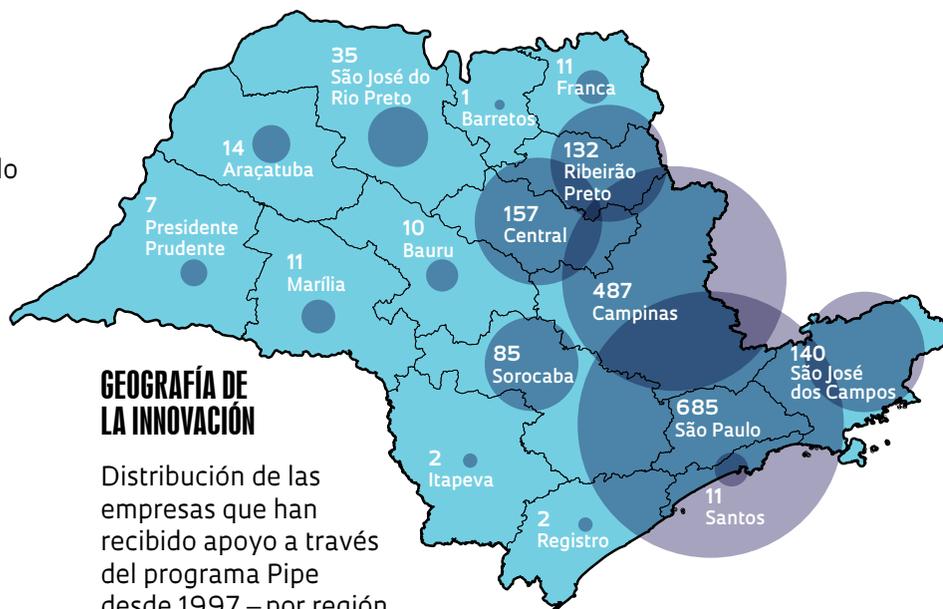
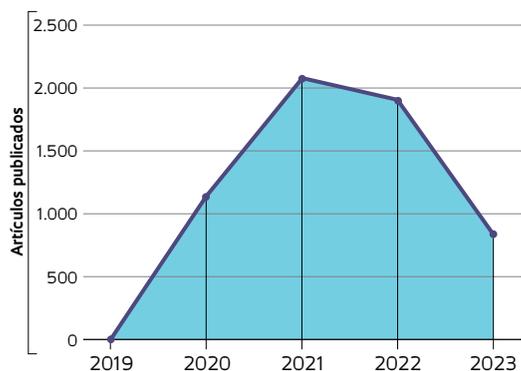
**E**n 2022 se pusieron en marcha tres nuevos CPE/CPA: el primero, centrado en el desarrollo de innovaciones *offshore*, en colaboración con la compañía Shell y con sede en la Universidad de São Paulo (USP); el segundo, enfocado en la mejora molecular vegetal, junto con la estatal Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) y con sede en la Universidad de Campinas (Unicamp), y el tercero, para la investigación inmunooncológica, en cooperación con la empresa farmacéutica GSK y con sede en la Sociedade Beneficente Israelita Albert Einstein. Este será el tercer centro creado por la FAPESP y GSK. Uno de ellos funciona en el Instituto Butantan desde 2015 e investiga blancos moleculares para el tratamiento de enfermedades de base inflamatoria. El otro, con sede en la Universidad Federal de São Carlos (UFSCar), apunta al desarrollo de productos y procesos químicos sostenibles para la fabricación de nuevos medicamentos.

En los CPE, los equipos de las empresas desarrollan colaboraciones a largo plazo, de cinco a diez años, con científicos de universidades o institutos de investigación. Las investigaciones son cofinanciadas por la FAPESP y por la empresa asociada en partes iguales, mientras que las instituciones contribuyen aportando infraestructuras y pagando los sueldos de los investigadores y técnicos. “Cuando la FAPESP pone 10 reales en un centro, la empresa A, B o C aporta otros 10 reales o más para amplificar los resultados de la inversión”, dijo el neurocientífico Luiz Eugênio Mello, director científico de la FAPESP en 2022 (*lea en Pesquisa FAPESP, edición n° 327*). “Y para muchas áreas en las que se incentiva la investigación y el desarrollo –por ejemplo, en el sector del petróleo y gas– no establecemos convenios uno a uno, sino dos a uno, tres a uno o cuatro a uno. Y este dinero siempre va a una institución de ciencia y tecnología del estado de São Paulo para solventar reactivos, equipos y becas”. En 2022 se crearon otros tres CPE que, según estaba previsto, comenzarán a funcionar en 2023. Uno de ellos es Smartness, que desarrollará investigaciones en el área de redes y servicios y estará instalado en la Unicamp, en colaboración con la firma Ericsson. El Centro de Investigaciones en Ingeniería para la Movilidad Aérea del Futuro (CPE-MAF) reunirá a investigadores de Embraer y del Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Y Braskem será socia de la Unicamp y de otras instituciones en investigaciones sobre el uso de la plasticultura en los cultivos agrícolas.

El programa Pipe, que desde 1997 ha apoyado la investigación en 1.853 micro, pequeñas y medianas empresas de base tecnológica en 163 municipios del estado de São Paulo, contrató 578 nuevos proyectos de 224 empresas innovadoras en

## ARTÍCULOS SOBRE EL COVID-19

Papers referentes al nuevo coronavirus publicados por investigadores de São Paulo



## GEOGRAFÍA DE LA INNOVACIÓN

Distribución de las empresas que han recibido apoyo a través del programa Pipe desde 1997 – por región administrativa

2022. Parte de estos proyectos fueron seleccionados en llamados a concurso realizados en colaboración con la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (Sabesp), el Servicio Brasileño de Apoyo a las Micro y Pequeñas Empresas (Sebrae) y la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep). Por primera vez, la FAPESP formó parte del Programa Centella, una iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI) de Brasil y de la Finep, junto con el Consejo Nacional de Fundaciones de Apoyo a la Investigación Científica de los Estados (Confap) y la fundación Certi –acrónimo de Centro de Referencia en Tecnologías Innovadoras– con sede en Florianópolis (Santa Catarina). El objetivo del programa es apoyar a jóvenes emprendedores interesados en convertir ideas innovadoras en nuevos negocios.

La FAPESP también fue responsable de la articulación nacional de la Iniciativa Amazonia +10, una alianza en la que participan las Fundaciones de Apoyo a la Investigación Científica de los Estados (FAP), bajo el liderazgo del Confap, cuyo propósito es estimular la investigación asociada e interdisciplinaria centrada en el desarrollo sostenible de la Amazonia. La primera llamada a la presentación de propuestas movilizó a más de 500 investigadores de 20 estados brasileños. Se seleccionaron 39 propuestas de 18 estados y del Distrito Federal, con inversiones de las FAP por un monto total de 41,9 millones de reales.

En mayo de 2022, una ceremonia le dio marco al 60° aniversario de la Fundación paulista, con el anuncio de nuevas inversiones en investigación por un total de 990 millones de reales. Las celebraciones ya habían comenzado en 2021 e incluyeron la realización de 17 Conferencias FAPESP 60 Años y dos Escuelas FAPESP 60 Años en las que participaron 120 pasantes de posdoctorado de todo Brasil, a las que se sumaron dos publicaciones lanzadas en 2022: el libro *FAPESP 60 anos: Ciência, cultura e desenvolvimento* [FAPESP 60° Aniversario. Ciencia, cultura e desenvolvimento], y *FAPESP 60 anos: A ciência no desenvolvimento nacional* [FAPESP 60° Aniversario. La ciencia en el desarrollo nacional de Brasil], coordinado por la Academia de Ciencias del Estado de São Paulo (Aciesp). ■

## LA FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

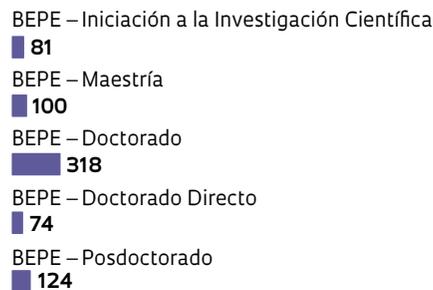
Cantidad de becas financiadas por la FAPESP vigentes en 2022

### BECAS EN EL PAÍS



### BECAS EN EL EXTERIOR

Becas de Pasantía de Investigación en el Exterior (BEPE)



Becas de Investigación en el Exterior (BPE)



**TOTAL: 7.165**

women, with 55 and 54 articles, respectively. “A big mark of sexism in science is that women’s health became a field of study considered scientific when it began being researched by men. Female culture and wisdom about their own health ~~was~~ **were** ignored,” affirms Hoppen. According to her, gender inequalities are evident in scientometrics, the field that analyzes quantitative aspects of science. “In most fields of knowledge, men ~~are able to~~ **can** publish more than women and appear to have more collaborations with their research. This is why we need more affirmative actions for women in science,” she affirms.

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

**BLOQUEO**

**EN LA**

**COMUNICACIÓN**

## Un estudio mapea las desventajas impuestas a los autores de artículos científicos cuya lengua materna no es el inglés y sugiere formas de aliviarlas

Fabrizio Marques

**U**n equipo de investigadores de 10 países analizó las políticas de publicación de 736 revistas científicas del campo de las ciencias biológicas e identificó las barreras impuestas a los autores que no tienen el inglés como lengua nativa. Algunos de estos obstáculos son bastante conocidos. Como el inglés es la lengua franca de la ciencia, no es raro que los editores de las revistas les sugieran a los autores la contratación de servicios de empresas especializadas en la edición o traducción de textos científicos para garantizar que el contenido de un manuscrito se exprese de manera clara y conforme a la norma culta inglesa, lo que encarece los costos de publicación, perjudicando sobre todo a los autores de los países pobres.

También existen otras barreras menos tangibles. De las 736 revistas analizadas, solo dos –*Nature* y *Nature Plants*– dejaron sentado expresamente en sus directrices que un *paper* no será rechazado solamente porque el autor no se exprese de manera satisfactoria en inglés: lo esencial es evaluar la pertinencia y la calidad de su contenido. Además de analizar las reglas de publicación, el grupo entrevistó a los editores en jefe de 262 de esas revistas, y solo el 6 % de ellos exhortaba a los revisores a no rechazar preliminarmente los artículos en inglés con problemas gramaticales, de claridad o fluidez. La mitad de los editores, aproximadamente, sugerían a los autores el uso de servicios de edición *online* gratuitos en inglés para la corrección de errores gramaticales o recomendaban tutoriales en internet. Solo el 1 % de las revistas proporcionó asistencia a través de programas de mentoría gratuitos. Una novedad del estudio, publicado en el repositorio EcoEvoRxiv y aún no revisado por pares, reside en que señala

ejemplos de revistas que proporcionan apoyo a los investigadores cuyos manuscritos necesitan ajustes en el idioma. Las revistas gestionadas por sociedades científicas tienden a ser más inclusivas. La Sociedad para el Estudio de la Evolución, con sede en Estados Unidos, cuenta con un programa de mentoría en inglés para asistir a quienes envían trabajos a la revista *Evolution*. En forma gratuita, editores experimentados en redacción científica pueden sugerir cambios menores y debatir directamente con los autores formas de hacer más comprensible el manuscrito. Los autores pueden solicitar el apoyo antes de presentar el artículo o durante el proceso de revisión.

Otro ejemplo es el del *Journal of Field Ornithology*, vinculado a la Asociación de Ornitólogos de Campo, una organización científica estadounidense que pone en contacto a los autores que no tienen al inglés como lengua primaria con voluntarios que pueden ayudarlos a perfeccionar sus textos. La Sociedad Estadounidense de Mastozoólogos diseñó un esquema de colaboración gratuito –ASM Buddy System– en el que zoólogos expertos en mamíferos ayudan a mejorar el nivel de inglés de los manuscritos, mientras que la revista *Journal of Ecology*, de la Sociedad Ecológica Británica, ofrece un servicio gratuito de revisión de textos mediante inteligencia artificial denominado Writefull. La asistencia ofrecida a los autores tiene buena recepción. En declaraciones a la revista *Nature*, Germana Barata, investigadora del Laboratorio de Estudios Avanzados de Periodismo de la Universidad de Campinas (Unicamp), dijo haber tenido una buena experiencia al publicar en inglés en la revista *Cultures of Science*. “Las correcciones y ediciones no modificaron mis ideas en absoluto, ni la esencia de mis escritos ni mi estilo”, dice. “Esto no sucede en muchas otras publicaciones”. El estudio

propone una serie de acciones para hacer frente a las barreras lingüísticas, como el compromiso público de las revistas de evaluar en forma justa el contenido de los *papers*, incluso el de aquellos que presentan problemas de redacción, o la oferta de servicios gratuitos para hacer más legibles en inglés los artículos cuyo contenido es relevante.

“Nuestro trabajo ha demostrado que las revistas pueden cumplir un papel dual. Al tiempo que constituyen una fuente de barreras lingüísticas, también pueden ayudar a los autores a superarlas”, dijo el biólogo brasileño Pedro Albuquerque Sena, coordinador técnico del Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (Cepan), una institución de investigación científica privada con sede en la ciudad de Recife, uno de los coautores del estudio. Albuquerque Sena es miembro de una comunidad de ecólogos conectada vía X (el antiguo Twitter), que suele exponer y debatir el bochorno que padecen los investigadores de los países en desarrollo al enviar sus manuscritos a revistas de alto impacto. Las quejas incluyen eventuales traspies lingüísticos, pero también la sensación de que hay injusticia y discriminación en el rigor con que los revisores descalifican a los estudios por estar mal redactados en inglés o ser poco originales. En la red social, Albuquerque Sena se topó con una invitación para investigadores interesados en sondear y analizar las políticas de publicación de las revistas de ecología y se sumó a este proyecto, junto con colegas de países tales como Australia, Reino Unido, Estados Unidos, Indonesia y la República Checa.

El equipo fue reunido por el autor principal del estudio, el biólogo japonés Tatsuya Amano, investigador del Centro de Biodiversidad y Ciencias de la Conservación de la Universidad de Queensland, en Brisbane (Australia). Amano está interesado

en el tema del sesgo lingüístico porque se siente directamente afectado. Salió de Japón en 2011 para irse a trabajar al Reino Unido y posteriormente a Australia, en donde se enfrentó al reto de producir ciencia exclusivamente en idioma inglés. Incluso hoy en día, dice que le resulta difícil redactar artículos, preparar ponencias y, especialmente, dictar conferencias en inglés. “Me demanda mucho tiempo y tengo que hacer un gran esfuerzo para hacerlo todo en inglés”, declaró en una entrevista concedida a Australian Broadcasting Corporation, la empresa pública de radiodifusión australiana. “Las barreras lingüísticas generan ansiedad, incomodidad, constreñimiento. Hay que ser valiente para enfrentarse a ellas”.

**E**n otro estudio publicado en julio en la revista *PLOS Biology*, Amano y sus colaboradores entrevistaron a 908 investigadores del área de las ciencias ambientales. Los que no tenían el inglés como lengua natal tardaban hasta el doble que los anglófonos nativos en preparar artículos o presentaciones en inglés. También señalaron que era 2,5 veces más probable que sus trabajos fueran rechazados por las revistas y 12,5 veces más factible que les pidieran hacer revisiones antes de publicarlos. Debido a su falta de confianza a la hora de comunicarse en inglés, la tercera parte de ellos dijo haber desistido de asistir a conferencias internacionales y, entre los que asistieron, la mitad informó haber evitado hacer presentaciones orales.

El menoscabo no se limita a la salud mental de los investigadores. La principal línea de investigación que lleva adelante Amano apunta a encontrar datos que sirvan para cubrir lagunas en el conocimiento de la biodiversidad, con miras a mejorar las estrategias de conservación. El investigador subraya que este conocimiento se produce en varios idiomas y que las prácticas de publicación vigentes acaban bloqueando su difusión. “El planeta necesita la contribución de todos los científicos, independientemente de su dominio del inglés”, sostiene.

Sigmar de Mello Rode, investigador de la Universidade Estadual Paulista (Unesp) y presidente de la Asociación Brasileña de Editores Científicos (Abec-Brasil), afirma que los investigadores brasileños y las revistas científicas nacionales se han enfrentado en los últimos años al reto de tener que publicar cada vez más en inglés y han tenido que diseñar estrategias para lidiar con las dificultades lingüísticas. “Quiérase o no, el inglés se ha convertido en la lengua de la ciencia y la divulgación de los resultados científicos en este idioma es un imperativo. Si el público objetivo de una investigación científica es de Brasil o de América Latina, la solución ha sido publicar también versiones en portugués y español”, explica.

## Los investigadores ambientales cuya primera lengua no era el inglés tardaban el doble de tiempo que los anglófonos para preparar trabajos en este idioma

## Las revistas brasileñas que publican en inglés les solicitan a los autores que envíen sus artículos a servicios especializados de revisión, que proporcionan certificados de conformidad del texto

Al respecto, De Mello Rode comenta que las revistas científicas de Brasil adoptaron estrategias similares a las de las revistas internacionales para garantizar la calidad lingüística de sus contenidos. “Muchas publicaciones les piden a los autores que envíen sus artículos a servicios especializados de revisión en inglés y estos certifican que el texto se ajusta al idioma”, explica. Incluso llegan a recomendar empresas específicas, como Enago, cuya tarifa parte desde los 90 dólares para corregir la gramática y el estilo de un texto de 1.500 palabras. Editoriales como Springer Nature cuentan con servicios propios. Un artículo de 1.500 palabras cuesta 243 dólares en el servicio plata, que ofrece la revisión de un editor especializado en el tema del manuscrito y la emisión de un certificado, y 484 dólares en el servicio oro, que incluye adaptaciones para darle al texto un estilo más profesional y natural.

**D**e Mello Rode que, en su experiencia como investigador, ha advertido señales de prejuicio hacia la ciencia producida en los países en desarrollo en las críticas a la calidad del inglés de los manuscritos. Hace algunos años, realizó una prueba: envió a una revista internacional un artículo de su autoría en inglés que había sido revisado por un servicio profesional y, a propósito, omitió adjuntar el certificado de revisión. “El artículo fue devuelto inmediatamente con una nota advirtiendo sobre problemas gramaticales y de claridad, sugiriendo su revisión. Entonces interpele al editor: le dije que, en efecto, el manuscrito había sido revisado, le envié el certificado y le pedí que me indicara dónde había encontrado problemas, para que pudiera quejarme a la empresa y solicitar

la devolución de los 120 dólares que había gastado. El editor me pidió disculpas, dijo que había sido un error y que la revisión no era necesaria”, relata.

La bióloga Marcia Triunfol, quien trabajó como editora para la revista *Science* y es experta en redacción científica, nota cierta exageración en la forma en que se exige el dominio del inglés a los autores brasileños. “En el marco de un *workshop* que organicé en São Paulo, un investigador de origen estadounidense afirmó que, hasta que los brasileños no aprendiesen la diferencia entre *show* y *demonstrate*, no serían capaces de escribir buenos artículos en inglés. Quedé estupefacta, porque no veo la importancia de esto a la hora de evaluar la calidad de un artículo”, dice la bióloga, fundadora de la empresa Publicase, que desde 2007 ofrece servicios de traducción y revisión de artículos y organiza talleres y cursos de capacitación para orientar a investigadores y estudiantes en técnicas de redacción científica. La investigadora, quien actualmente vive en Portugal, no ve este tipo de presiones ni preocupación por el problema entre los autores europeos que tienen al inglés como segunda lengua.

Para ella, el reto más complejo no tiene tanto que ver con el dominio del inglés, que ha ido mejorando en los últimos años, sino en capacitar a los estudiantes y jóvenes investigadores en la escritura científica. “Durante la pandemia, organizamos un curso de capacitación virtual por Zoom destinado a investigadores de posdoctorado de la Universidad Harvard. Las dudas en cuanto a la redacción de un artículo científico eran las mismas que se suscitaban en los *workshops* con investigadores brasileños”. Según ella, la formación que ofrecen las universidades es, por lo general, improvisada: “Lo ideal sería que hubiera docentes especializados en técnicas de comunicación científica y no solamente investigadores que comparten su experiencia con los alumnos”.

Triunfol cree que el problema pronto dejará de tener las características actuales. Para ella, las herramientas de traducción y edición basadas en la inteligencia artificial podrán desempeñar un rol fundamental en la adecuación de la escritura de los investigadores no anglófonos. “En los últimos años, con la introducción de programas informáticos de ayuda a la traducción, noto que la calidad de la redacción científica ha mejorado. Recientemente, gracias al ChatGPT, he advertido un descenso en la demanda de servicios de traducción y revisión en mi empresa, algo que me parece positivo”. La editora dice que es posible utilizar la inteligencia artificial para la corrección de escritos científicos en forma ética. “Como el objetivo es corregir y perfeccionar un texto escrito previamente por el propio investigador, prácticamente no se corren riesgos de que estas herramientas generen casos de plagio”, dice. ■

# UNA POTENCIAL VACUNA CONTRA LA COCAÍNA

Avanzan los estudios para el desarrollo de un inmunógeno capaz de tratar a los adictos a esta droga

Suzel Tunes



**L**a adicción a la cocaína y sus derivados, como el *crack*, es un problema de salud pública de dimensiones globales para el cual la medicina aún busca un tratamiento efectivo. Un grupo de investigadores de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), en Brasil, ha apostado a la inmunología para encontrarle una solución. Ese equipo está desarrollando una vacuna contra esta droga y se encuentra en busca de financiación para poder realizar los primeros ensayos en humanos. Las pruebas iniciales en animales revelaron que el posible inmunógeno fue capaz de estimular la producción de anticuerpos contra la molécula de la cocaína, pero aún no hay evidencias científicas de que realmente reduzca la dependencia de la droga. Esta hipótesis se verificará en nuevos test con animales, que se llevarán a cabo antes de pasar a la fase de ensayos clínicos con voluntarios humanos, cuyo inicio aún no tiene una fecha prevista.

“En las pruebas con roedores y primates no humanos –titíes de la especie *Callithrix penicillata*– nuestra vacuna, denominada Calixcoca, no causó efectos secundarios significativos, solamente una leve reacción en el lugar de la inyección, sin comprometer la salud general de los animales”, dice el médico psiquiatra Frederico Duarte Garcia, docente del Departamento de Salud Mental de la Facultad de Medicina de la UFMG y líder del estudio.

El nombre Calixcoca, dice el investigador, se inspira en la estructura química que compone el compuesto inmunizante, del tipo calixareno, que tiene forma de cáliz y funciona como transportador del antígeno, un hapteno análogo a la cocaína. Los transportadores son sustancias de mayor peso molecular, capaces de provocar una respuesta inmunitaria.

El farmacéutico Paulo Sérgio de Almeida Augusto, miembro del grupo de la UFMG, explica que los haptenos son moléculas que, debido a su pequeño tamaño, no son reconocidas como invasoras por el sistema inmunitario y necesitan combinarse con una macromolécula transportadora para inducir una respuesta inmunitaria en el organismo. Esto es lo que ocurre con la cocaína. “La cocaína es una molécula extraña para el cuerpo humano, pero en general no posee el peso molecular ni la complejidad química necesarios para inducir una respuesta inmune considerable”, dice De Almeida Augusto. “La respuesta puede incluso inducirse cuando la persona consume altas dosis de la droga y con gran frecuencia, pero esto no ocurre con todos los individuos”.

Para crear el nuevo inmunógeno, los investigadores desarrollaron un hapteno a partir de una molécula de cocaína modificada para unirse al transportador. Al conjugarse con el calixareno, adquiere mayor peso molecular y entonces es capaz de pro-

vocar una respuesta inmunitaria. La idea es que si la persona vacunada vuelve a consumir cocaína o *crack*, los anticuerpos se unan a las moléculas de la droga en el torrente sanguíneo, impidiendo o al menos reduciendo su paso a través de la barrera hematoencefálica. Esta estructura recubre los vasos sanguíneos que irrigan el sistema nervioso central y actúa como una especie de filtro, controlando el transporte de sustancias que llegan al cerebro.

Un estudio realizado por el grupo de Minas Gerais con la molécula sintetizada por la UFMG demostró, mediante una prueba de radiactividad, que la vacuna reduce el paso de la droga por la barrera hematoencefálica en animales. “Los animales inmunizados fueron tratados con un radiofármaco de estructura y mecanismo de acción similar a la cocaína. Mediante un examen de gammagrafía o centellograma, detectamos una menor concentración de este compuesto en el cerebro de los animales inmunizados y una mayor concentración en sangre en comparación con los animales que solamente recibieron placebo”, explica De Almeida Augusto. Los resultados del estudio fueron publicados recientemente en la revista *Journal of Advanced Research*.

La hipótesis de los investigadores de Minas Gerais plantea que, una vez que la vacuna impide que las moléculas de cocaína atraviesen la barrera hematoencefálica y lleguen al cerebro, la persona no sentirá los mismos efectos placenteros que antes activaban el circuito de recompensa del cerebro, que provocan la compulsión. Sin embargo, esta teoría aún deberá constatar en la fase de exámenes clínicos. “Sin la compulsión, el paciente gana tiempo para retomar su vida familiar, profesional y otros placeres e intereses que fueron sustituidos por la droga”, explica Duarte Garcia.

#### UN HISTORIAL QUE DESAFÍA

El nuevo enfoque terapéutico es visto con prudente expectativa por los expertos en materia de adicciones. “La medicina aún no dispone de un fármaco aprobado para hacer frente a esta enfermedad. El tratamiento actual se limita a controlar los signos y síntomas del síndrome de abstinencia y los trastornos asociados, junto con terapias conductuales”, explica el farmacéutico bioquímico Fábio Cardoso Cruz, docente del Departamento de Farmacología de la Escuela Paulista de Medicina de la Universidad Federal de São Paulo (Unifesp), quien no participó en el estudio de la UFMG.

Cardoso Cruz está investigando el mecanismo neurobiológico de la recaída en el consumo de cocaína y *crack*, en el marco de un proyecto apoyado por la FAPESP. Intenta entender por qué entre el 70 % y el 80 % de los adictos experimentan recaídas durante el tratamiento. “Estos datos ponen de relieve la urgencia del desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas. En este contexto, las vacunas

Pasta base de cocaína: la droga es la segunda sustancia ilícita más consumida en Brasil

han sido señaladas como un enfoque farmacológico novedoso y prometedor”, comenta el investigador.

Sin embargo, Calixcoca no es la primera fórmula terapéutica basada en la inmunología para combatir la drogodependencia. “El potencial terapéutico de las vacunas contra las drogas se demostró por primera vez a mediados de la década de 1970, cuando un conjugado de morfina y albúmina de suero bovino fue capaz de reducir ligeramente la autoadministración de heroína en un mono Rhesus [*Macaca mulatta*]. En los años 1990 salieron a la luz los primeros informes referidos a intentos de desarrollo de vacunas contra la cocaína y la nicotina”, dice Cardoso Cruz. El experimento con el mono Rhesus salió publicado en la revista *Molecular Psychiatry*, en 1974.

A pesar de los resultados prometedores de los estudios preclínicos y de algunos ensayos clínicos iniciales, por ahora no existe ninguna vacuna antidroga registrada en el mundo. “Aún quedan retos por superar. No todos los individuos responden de la misma manera a las vacunas y algunos

no producen niveles de anticuerpos suficientes como para alcanzar la eficacia clínica deseada”, explica el investigador de la Unifesp.

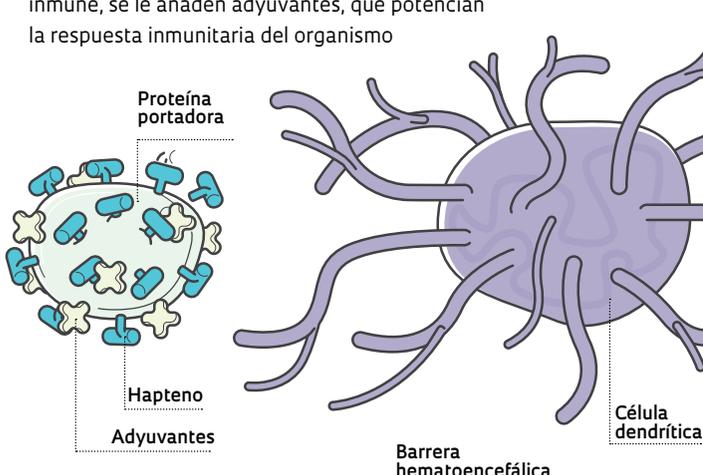
“En general, las vacunas son eficaces en modelos animales. Pero cuando pasan a la fase de ensayos clínicos, no se obtienen buenos resultados”, confirma la inmunóloga Denise Moraes da Fonseca, del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad de São Paulo (ICB-USP). En el mes de marzo, ella participó en un curso organizado por el ICB sobre el tratamiento farmacológico de la adicción. Para preparar las clases, se dedicó a investigar las revisiones bibliográficas sobre vacunas, y el resultado fue frustrante. “Una revisión de 2022 analizó 23 ensayos clínicos ya finalizados sobre vacunas antidrogas, dos de los cuales estaban dirigidos al tratamiento de la cocaína; la mayoría eran contra la nicotina”, relata. “Todas fueron fallidos”.

La inmunóloga subraya que algunas vacunas no produjeron anticuerpos en cantidad suficiente, o bien la respuesta inmunitaria decayó demasiado rápido. Las razones de estos resultados aún no

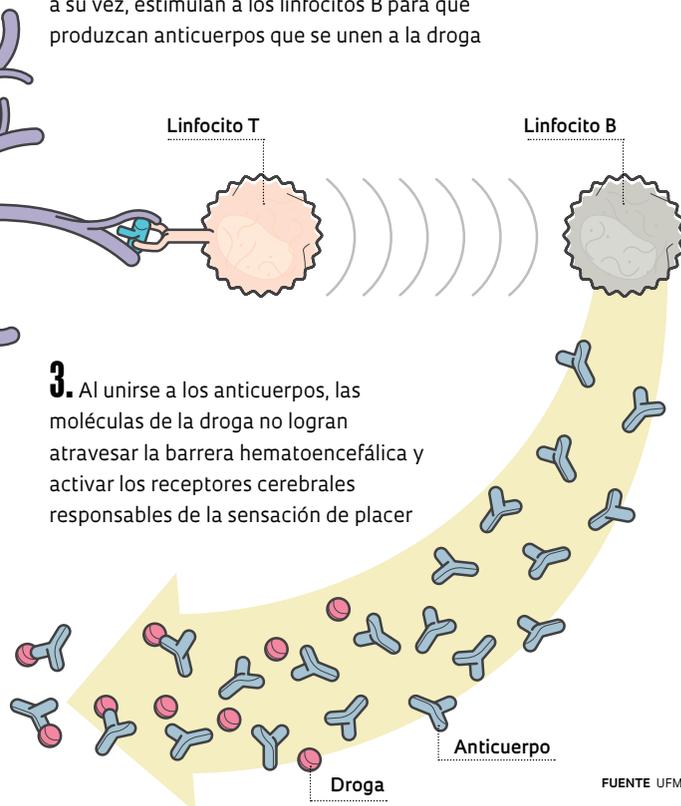
## CÓMO FUNCIONA EL INMUNÓGENO

Las vacunas antidrogas por lo general están compuestas por una molécula de la droga modificada, el hapteno, conjugada con un transportador

**1.** Al compuesto formado por el hapteno y el transportador, una sustancia con un peso molecular mayor capaz de provocar una respuesta inmune, se le añaden adyuvantes, que potencian la respuesta inmunitaria del organismo

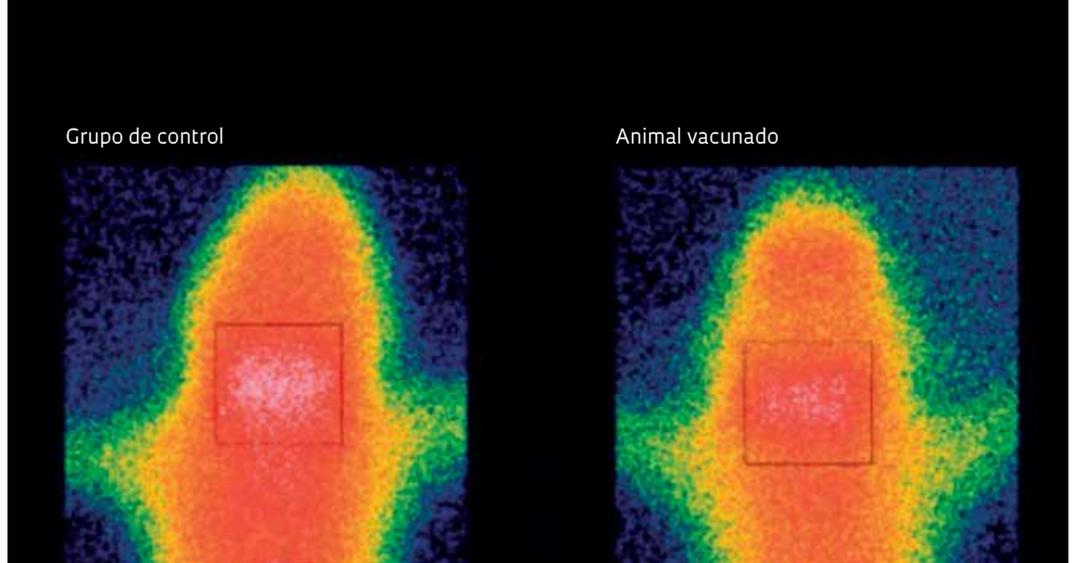


**2.** Dentro del torrente sanguíneo, las células inmunitarias dendríticas capturan a los antígenos y los remiten a los linfocitos T auxiliares. Estos, a su vez, estimulan a los linfocitos B para que produzcan anticuerpos que se unen a la droga



**3.** Al unirse a los anticuerpos, las moléculas de la droga no logran atravesar la barrera hematoencefálica y activar los receptores cerebrales responsables de la sensación de placer

Las imágenes obtenidas por gammagrafía revelan una menor concentración de un radiofármaco de estructura y acción similar a las de la cocaína en el cerebro de los roedores inmunizados con la vacuna creada por el equipo de Minas Gerais (los puntos rosados en el centro de la imagen) que en los del grupo de control



están claras, pero pueden estar asociadas a la variabilidad genética de los individuos evaluados, algo que no existe cuando se utilizan modelos animales. “Por lo general, en las investigaciones se utilizan ratones isogénicos, es decir, genéticamente uniformes”, dice Morais da Fonseca.

Otra explicación posible puede tener que ver con el comportamiento del voluntario al que se le inoculó la vacuna. “En algunas pruebas que fracasaron, el adicto utilizó dosis más altas de la droga hasta conseguir el efecto deseado”, dice la investigadora.

Los científicos de la UFMG reconocen que, en teoría, existe el riesgo de un consumo de dosis más altas en un intento de reactivar el circuito de recompensa del cerebro. Según De Almeida Augusto, esta cuestión se estudiará más adelante, con modelos experimentales que permitan estimar qué cantidad de droga es capaz de bloquear la vacuna. “En la práctica, lo que pretendemos es interponer obstáculos al mecanismo de compulsión. A partir de cierto punto, el aumento del consumo implicaría un costo demasiado alto para el usuario, lo que cabría suponer que le plantearía una limitación económica”, argumenta Duarte García.

Ante todo, el grupo de Minas Gerais confía en una mayor eficacia de Calixcoca en comparación con proyectos anteriores. Esta confianza radica en la constitución química de la fórmula. “La diferencia de nuestra propuesta reside en que la vacuna no posee ninguna base proteica. El calixareno es una sustancia orgánica sintética”, resume Ângelo de Fátima, docente del Departamento de Química de la UFMG, quien desarrolló la plataforma inmunogénica de la vacuna.

Los proyectos anteriores de vacunas antidrogas utilizaban como transportadoras proteínas que ya habían sido empleadas en otras fórmulas vacunales utilizadas por la población, lo que generaba un cierto nivel de sensibilización. “El organismo reaccionaba también contra las proteínas, no solamente contra la droga en cuestión. Nuestra vacuna induce una mejor respuesta por-

que es una molécula completamente nueva para el organismo”, sostiene Duarte García.

Otra ventaja de la nueva fórmula, según sus desarrolladores, reside en el proceso de producción. “El calixareno es una sustancia más estable y no requiere una cadena de frío para su producción y almacenamiento. El proceso sería más barato”, apunta el químico de la UFMG. La cadena de frío es la logística de manipuleo, almacenamiento, distribución y transporte de los medicamentos termolábiles (sensibles a las variaciones de temperatura) a una temperatura controlada.

**A**unque en futuros estudios clínicos la vacuna Calixcoca demuestre su eficacia como generadora de anticuerpos contra la cocaína en humanos, requerirá el acompañamiento de otros soportes terapéuticos. Así lo advierte Cardoso Cruz, basándose en sus investigaciones sobre los mecanismos biológicos de la dependencia química. Para explicarlo, señala que existe una memoria asociativa relacionada con la droga, que puede activarse por diferentes disparadores, tales como situaciones estresantes o la exposición del individuo a ambientes y contextos asociados al consumo.

Cuando una persona hace un uso crónico de una determinada sustancia, explica el investigador, su cerebro asocia el efecto de la droga con el lugar en donde suele consumirla, los objetos que utiliza, las personas que le rodean e incluso la ropa que suele llevar para la ocasión. La mera exposición a estos elementos puede despertar un deseo incontrolable de consumir la sustancia. “Las vacunas pueden utilizarse como parte de un abordaje integral de tratamiento, combinadas con terapia conductual, apoyo psicosocial y otras intervenciones tendientes a ayudar a las personas a superar su adicción”, puntualiza Cardoso Cruz.

“Es indispensable pensar en el uso de una vacuna contra la droga conjuntamente con la implementación de políticas públicas”, añade Morais da

Fonseca, del ICB-USP, quien considera que hay varias cuestiones éticas involucradas en el empleo de este recurso. “¿Vamos a utilizarlas como vacunas terapéuticas o profilácticas? ¿Para implementar la vacunación se elegirán grupos de riesgo?”, indaga. Un posible uso del nuevo fármaco, estima la inmunóloga, sería la protección materno-fetal contra los daños causados por la exposición prenatal a la droga. Este es otro aspecto del trabajo de la UFMG y el tema de la tesis doctoral en medicina molecular del farmacéutico Paulo Sérgio de Almeida Augusto, defendida en 2020.

**E**l investigador recuerda que la exposición a la cocaína durante el embarazo no solo supone riesgos para las madres, que pueden sufrir abortos espontáneos y complicaciones durante el parto, sino también para los fetos y los bebés, con repercusiones para la vida del niño. Prematuridad, bajo peso, daños en el desarrollo neurobiológico, malformaciones y mayor riesgo de padecer trastornos psiquiátricos en la adolescencia son algunos de los efectos nocivos relacionados con el consumo de cocaína durante la gestación. “La mejor forma de prevenir la exposición prenatal a la cocaína es dejar de consumirla. Sin embargo, tan solo el 25 % de las consumidoras consiguen dejarla durante el embarazo”, informa De Almeida Augusto.

La investigación doctoral del farmacéutico fue una prueba de concepto para el uso de la vacuna anticocaína durante el embarazo, con base en pruebas realizadas con ratas preñadas. Fue el primer estudio que informó de la eficacia de un agente inmunizante de este tipo aplicado durante la gestación, publicado en la revista *Molecular Psychiatry* en 2021. El proyecto se desarrolló en simultáneo al desarrollo de Calixcoca, por lo que el investigador decidió utilizar una vacuna creada por el estadounidense Kim Janda, denominada

GNE-KLH. Fruto de estudios realizados desde la década de 1990, obtuvo buenos resultados en las pruebas preclínicas, pero no mostró los efectos esperados en los ensayos clínicos.

En los test con animales, los resultados fueron positivos. “En comparación con las madres tratadas con placebo, las vacunadas durante el período de preñez presentaron un mayor aumento de peso gestacional y camadas más numerosas”, relata el investigador. “Se encontraron anticuerpos anticocaína en los fetos, en los neonatos y también en la leche materna”.

Él comenta que estos anticuerpos fueron capaces de moderar la agitación y el efecto hiperlocomotor inducidos por la cocaína en las crías recién destetadas. Para probar esta hipótesis, se les administraron dosis de cocaína a los roedores, que luego fueron colocados en cajas y observados. “El comportamiento primario de las crías es esconderse en un rincón de la caja. Bajo el efecto de la cocaína, se mostraban más desinhibidos, moviéndose por toda la superficie de la caja. Pero los que recibieron anticuerpos mantuvieron su comportamiento normal”. El equipo de Minas Gerais tiene previsto realizar el mismo experimento con Calixcoca.

Para el bioquímico Cardoso Cruz, es clave que la ciencia intente comprender los mecanismos de la dependencia e identifique posibles tratamientos. “La adicción aún no ha sido tratada con el respeto que merece. No es un defecto de carácter o falta de fuerza de voluntad, es una enfermedad para toda la vida”.

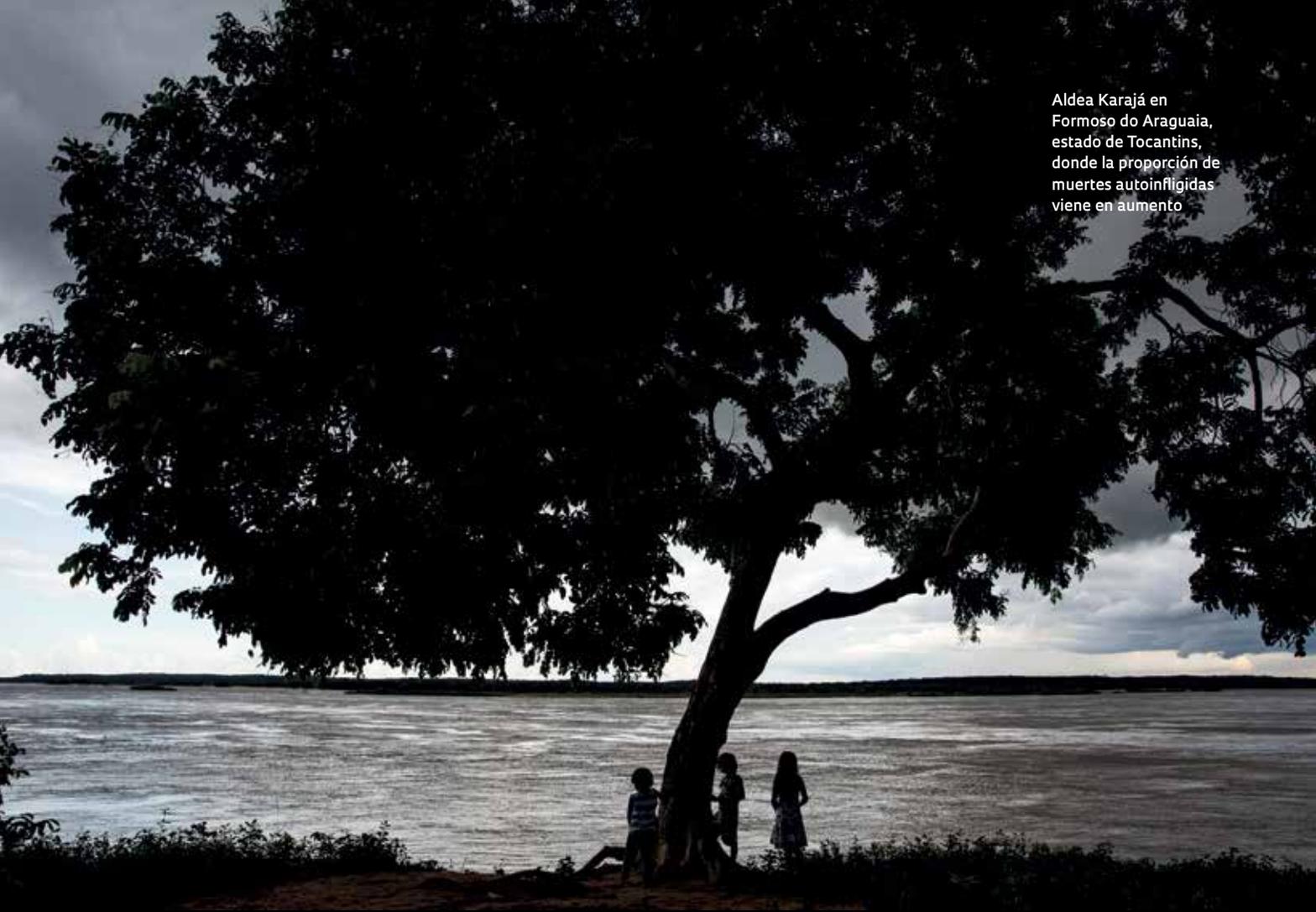
Para posibilitar la realización de los ensayos clínicos, los investigadores del grupo de Minas Gerais han mantenido conversaciones con potenciales financiadores. En junio, la municipalidad de São Paulo anunció una inversión de 4 millones de reales en el proyecto y la intención de evaluar su aplicación en grupos seleccionados, incluyendo drogodependientes en etapa de recuperación, en la próxima fase de la investigación. También se han entablado conversaciones con la gubernación paulista y con el Instituto Butantan. “Necesitaremos 30 millones de reales para los estudios clínicos de fase I y II, que demandarán entre dos y tres años para completarse”, informa.

Los investigadores ya han presentado una solicitud de patente de la posible vacuna a nombre de la UFMG y de la Fundación de Apoyo a la Investigación Científica del Estado de Minas Gerais (Fapemig), que respalda el proyecto. En mayo, el estudio fue seleccionado como uno de los finalistas del 2º Premio Euro – Innovación en Salud, una iniciativa internacional que pone de relieve las innovaciones en el área de la medicina, patrocinada por la empresa farmacéutica brasileña Eurofarma. ■

Raissa Pereira, estudiante de doctorado de la UFMG, sostiene un frasco con la fórmula del compuesto inmunizante Calixcoca



El proyecto y los artículos científicos consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.



Aldea Karajá en Formoso do Araguaia, estado de Tocantins, donde la proporción de muertes autoinfligidas viene en aumento

EPIDEMIOLOGÍA

# MUERTES PREMATURAS

La tasa de suicidio entre los indígenas de Brasil es casi tres veces mayor que la de su población en general

Renata Fontanetto

**E**n Brasil, la tasa de suicidios entre los indígenas, que ya era elevada, ha aumentado en este principio de siglo y se ha mantenido muy por encima de la de la población en general. Según el más vasto estudio realizado sobre este tema, publicado en septiembre en la revista *The Lancet Regional Health - Americas*, la proporción de muertes autoinfligidas entre los miembros de los pueblos originarios era de 9,3 casos por cada 100.000 individuos en 2000, y en 21 años prácticamente se ha duplicado, hasta llegar a 17,6 por cada 100.000 en 2020. En el mismo período, el índice promedio de suicidios entre la población brasileña también ha crecido, aunque en menor medida. Ha pasado de unas 4,6 a 6,4 muertes por cada 100.000 personas: un incremento de aproximadamente un 39 %. A causa de este crecimiento a ritmos dispares, el porcentaje de suicidios entre los indígenas es ahora 2,7 veces mayor que entre la población en general.

Fruto de un trabajo conjunto entre investigadores de diferentes unidades de la Fundación Oswaldo Cruz (Fiocruz) y de la Universidad Harvard, de Estados Unidos, el estudio publicado en septiembre es el primero en dimensionar el problema entre los indígenas a nivel nacional. Investigaciones previas ya habían

apuntado que la tasa general de suicidios entre la población brasileña, considerada baja en comparación con la de otras naciones, estaba aumentando. Sin embargo, existían lagunas en los datos relativos a los pueblos originarios brasileños. Los estudios existentes habían cuantificado el problema en estados específicos y en períodos de tiempo más breves, escribieron los autores del artículo.

En el estudio actual, la psiquiatra Jacyra de Araújo y sus colaboradores mapearon la evolución reciente del suicidio en Brasil a partir de las cifras registradas en el Sistema de Información sobre la Mortalidad (SIM), del Ministerio de Salud nacional. En primera instancia, identificaron el total de individuos que se quitaron la vida entre 2000 y 2020, tanto entre los indígenas como en la población brasileña en general. Luego calcularon el cociente entre el número obtenido y el total de individuos de cada grupo (indígenas y población en general), tomando como base los datos del Censo 2010, el más reciente entonces disponible, que contabilizaba 196,4 millones de brasileños, de los cuales 897.000 eran indígenas. El número absoluto de individuos se corrigió para cada año con base en las proyecciones del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

De este trabajo surge otra conclusión inquietante. En este principio de siglo, el acto de quitarse la vida, indicador de un desamparo profundo a menudo asociado a problemas de salud mental como la depresión, se revela como un problema notorio entre los jóvenes. De los 2.021 casos de suicidio entre los indígenas que se registraron en el período,

el 64 % correspondió a individuos menores de 24 años y el 68 % a personas solteras, casi siempre (un 90 %) por ahorcamiento, asfixia o estrangulación. En la población en general, el riesgo de suicidio es superior entre los mayores de 60 años.

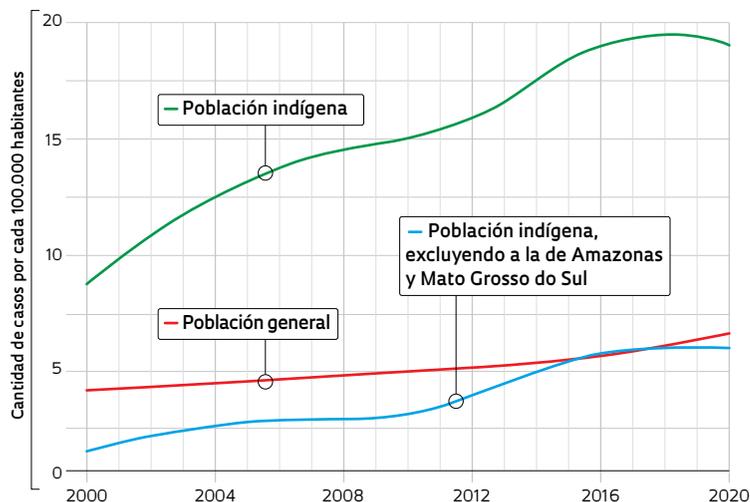
Otro elemento importante reside en que las tasas que se hallaron en estas poblaciones, pese a ser alarmantemente altas, podrían estar subestimadas. “La calidad del SIM ha mejorado en los últimos 20 años, pero hay indicios de que existe un subregistro de suicidios, algo habitual en todo el mundo debido al estigma y a la dificultad de establecer si el mismo fue intencional”, explica De Araújo, investigadora asociada del Centro de Integración de Datos y Conocimientos para la Salud (Cidacs) de la Fiocruz, en Bahía, y autora principal del estudio. “Las tasas reales pueden ser mayores que las obtenidas en este estudio”, sostiene.

**A** los investigadores les ha llamado la atención un patrón peculiar. Las tasas de suicidio variaron bastante entre las distintas regiones brasileñas, incluso entre las que cuentan con una gran población indígena. Por ejemplo, eran varias veces más altas en el centro-oeste y en el norte del país –la tercera y la primera región con mayor cantidad de descendientes de los pueblos originarios, respectivamente– que en el nordeste que concentra la segunda mayor población indígena de Brasil. “El suicidio indígena está presente en todas las regiones y en diversas etnias, pero es desproporcionadamente mayor en ciertos estados”, especifica el epidemiólogo Jesem Orellana, investigador del Instituto Leônidas y Maria Deane, unidad de la Fiocruz en el estado de Amazonas, coautor del estudio, que contó con la participación de colaboradores de la Escuela de Medicina de la Universidad Harvard y con financiación de los Institutos Nacionales de Salud (NIH), ambos de Estados Unidos.

Siguiendo una tendencia opuesta a la general, la tasa de suicidios entre los indígenas se redujo de 46 por cada 100.000 en 2000 a 34 por 100.000 en 2020 en los estados del centro-oeste, donde según el Censo 2010, vivían 143.400 descendientes de los pueblos originarios (el 16 % de la población indígena). Con todo, a pesar de este importante descenso, la tasa sigue siendo muy superior a la media nacional. En cambio, en la región norte, habitada por 342.900 indígenas (el 38,2 % del total), la proporción de muertes autoinfligidas creció más de 10 veces en el período: pasó de 2,7 a 29 casos por cada 100.000 individuos. En el nordeste, hogar de 232.700 indígenas, el índice también aumentó, pero mucho menos. Pasó de 1,4 a 4,8 muertes por cada 100.000, una cifra sensiblemente inferior a la media nacional.

## EL AUMENTO DE LOS SUICIDIOS EN BRASIL

En dos décadas, la tasa de muertes autoinfligidas en la población indígena se ha mantenido muy por encima de la de la población en general



FUENTE DE ARAÚJO, J. A. P. THE LANCET REGIONAL HEALTH - AMERICAS. 2023



Un individuo de la etnia Karajá observa las sepulturas de tres hijos suyos que se quitaron la vida

Los estados con las tasas de suicidio más altas son Mato Grosso do Sul y Amazonas. En el primero, donde vivían 77.000 indígenas, alcanzaron un pico aterrador de 105 por 100.000 en 2005 y nunca han sido inferiores a 43 por 100.000. Con 184.000 individuos descendientes de los pueblos originarios, Amazonas vio aumentar esta tasa de 0,99 en 2000 hasta el pico de 45 en 2014; en 2020 fue de 38,6 por cada 100.000. “Cuando se excluyen los datos del suicidio indígena de estos dos estados, la tasa entre los indígenas pasa a ser prácticamente idéntica a la de la población brasileña en general”, dice Orellana.

**L**a realidad brasileña expuesta en el artículo publicado en *The Lancet Regional Health – Americas* no es muy diferente a la que se observa en otros países. En un trabajo de revisión publicado en 2018 en la revista *BMC Medicine*, investigadores canadienses recopilaron datos de 99 artículos científicos sobre el suicidio indígena en más de 30 naciones y territorios. La conclusión a la que arribaron indica, a grandes rasgos, que las tasas de muerte autoinfligida suelen ser más altas entre las poblaciones de originarios que entre las no indígenas, especialmente en países tales como Brasil, Canadá y Australia.

Aunque el grupo de la Fiocruz no ha investigado las razones que inducen al suicidio entre los indígenas, otros estudios han esbozado algunas pistas. En un artículo de revisión publicado en 2020 en la *Revista Panamericana de Salud Pública*, el grupo coordinado por el psicólogo Maycoln Teodoro, de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), enumeró como causas frecuentes: la pobreza, los bajos indicadores de bienestar, factores históricos y culturales, la desintegración familiar y la falta de sentido de la vida.

La invasión de sus tierras y la expulsión del territorio en el que originalmente habitaban, así como la degradación del ambiente y los cambios obligados de los hábitos de vida, son factores que conllevan la denominada “muerte cultural”, otro inductor potencial de la conducta suicida. Algunos expertos entrevistados para la elaboración de este reportaje enumeran también otras razones que pueden contribuir para mantener las tasas de muerte autoinfligida más altas entre los indígenas que en el resto de la población. Estos tienen menos acceso al sistema educativo y a los servicios de salud. También padecen niveles más altos de desempleo y cifras crecientes de consumo y dependencia del alcohol. Estudios precedentes ya habían señalado que la pérdida de la identidad indígena y el aumento de la violencia sexual que experimentan los más jóvenes contribuyen de manera importante al problema.

La socióloga Juliana Kabad, del Instituto de Salud Colectiva de la Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT), afirma que las causas que conducen al suicidio pueden variar entre una y otra etnia. “Los factores que potencian este agravamiento son innumerables. Para conocerlos, hay que escuchar a los distintos pueblos indígenas brasileños y tener en cuenta el proceso de lucha de cada uno de ellos ante el despojo de sus tierras y la pertinaz discriminación”, dice la investigadora, quien no participó en el estudio actual.

“Es necesaria una acción urgente para comprender el sufrimiento al que han sido sometidos estos jóvenes debido a la violencia y a la ruptura de los lazos con su propia comunidad, para que podamos brindarles un amparo integral”, reflexiona la antropóloga Sandra Garcia, del Centro Brasileiro de Análise e Planejamento – Cebrap, sin vínculo con el estudio de *The Lancet Regional Health – Americas*. “Es de suma importancia coordinar estrategias nacionales y específicas para estos grupos, teniendo en cuenta las diversidades étnicas, para abrir caminos para la prevención del suicidio”, subraya.

Orellana, de la Fiocruz de Amazonas, recuerda que, desde el punto de vista epidemiológico, algunas etnias viven en una situación de mayor vulnerabilidad que otras. Es el caso de los guaraníes-kaiowás, de Mato Grosso do Sul, entre quienes se han registrado olas de suicidios, sobre todo entre los más jóvenes, tal como lo documenta un artículo publicado en 1991 en la revista *Cadernos de Saúde Pública*. “La identificación de estas etnias es importante para definir estrategias adecuadas de prevención, una de las prioridades de la actual administración”, dice Matheus Cruz, técnico de atención psicosocial y promoción del bienestar de la Secretaría de Salud Indígena (Sesai) del Ministerio de Salud. ■

Los proyectos y artículos científicos consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.

Una hembra de abeja esmeralda de las orquídeas (*Exaerete smaragdina*) en una flor del árbol llamado guanhumá [*Cordia superba*] en Cosmópolis, São Paulo

# LA LARGA HISTORIA DE LAS ABEJAS

Estos insectos polinizadores habrían surgido hace 120 millones de años en el supercontinente conocido como Gondwana Occidental, formado por las actuales América del Sur y África

**Sarah Schmidt**

Hace unos 120 millones de años, a principios del período Cretácico, aún vagaban por la Tierra grupos de dinosaurios cuando aparecieron las primeras abejas en lo que actualmente son Sudamérica y África, continentes por entonces fusionados como parte del supercontinente Gondwana. “El antepasado común de las abejas probablemente haya aparecido en medio del clima árido que caracterizaba a esta región. Aún hoy en día, la mayoría de las más de 20.000 especies de abejas catalogadas prefieren las zonas más secas, en donde son más diversificadas”, dijo el biólogo Eduardo Almeida, del campus de Ribeirão Preto de la Universidad de São Paulo (USP), en Brasil, mientras se preparaba para presentar los resultados en un seminario sobre la evolución de las abejas en la ciudad de Portal, en Arizona (EE. UU.), a mediados de agosto.

Junto con su colega alemán Silas Boserup, de la Universidad del Estado de Washington, dirigió el estudio publicado en agosto en la revista científica *Current Biology*, que dotó de nitidez al panorama esbozado en estudios anteriores mediante el análisis de secuencias de ADN de dis-

tintas partes del genoma de 216 especies de abejas de las siete familias y 28 subfamilias conocidas en la actualidad. Las muestras procedían de los cinco continentes habitados por abejas (todos menos la Antártida), merced a los datos y especímenes que se conservan en los museos de investigación. Almeida es el curador de la colección entomológica Prof. J. M. F. Camargo, que contiene cientos de miles de ejemplares de abejas.

Los investigadores compararon las estimaciones genéticas de edad y los datos sobre la distribución geográfica de estas especies con la información de 220 fósiles y los lugares en donde fueron recogidos. Toda esta información le permitió al grupo trazar el árbol genealógico (filogenia) de las abejas, estimando las relaciones de parentesco evolutivo entre los principales linajes y las edades de los acontecimientos evolutivos. El resultado es una línea temporal que indica dónde y cuándo aparecieron las primeras especies y cómo se dividieron los grupos y se diversificaron en colores, formas, comportamientos y modos de organización; y se dispersaron por el planeta en el transcurso del tiempo, siguiendo el reacomodamiento de los continentes.

Según los resultados del grupo de Ribeirão Preto, desde el momento en que apareció el ancestro común de las abejas, hace unos 124 millones de años, sobrevino un proceso continuo de diversificación influido por la configuración de los continentes en aquella época, el ascenso y descenso del nivel de los océanos y los cambios climáticos que se produjeron en los distintos períodos geológicos.

“La separación del supercontinente provocó un cambio en la configuración de la distribución de las abejas por el mundo”, explica Almeida. Los datos sugieren que, de las siete familias actuales, tan solo los melítidos (*Melittidae*) aún no existían hace unos 100 millones de años en la región que hoy en día corresponde a Sudamérica. Tal vez gracias a ello, las abejas resistieron la caída del asteroide considerado responsable de la extinción masiva de los dinosaurios, en el golfo de México, hace unos 60 millones de años. “Ya se habían dispersado por todo el planeta, con una distribución aproximadamente similar a la actual”, pondera Almeida. Y recuerda que, a partir de aquel período, algunos biomas tropicales empezaron a expandirse hacia latitudes más altas, lo que les permitió a los grupos que vivían en regiones tropicales y subtropicales del hemisferio sur avanzar hacia América del Norte, Europa, Asia y el norte de África.

Los primeros grupos de abejas arribaron probablemente a Australia hace entre 70 y 35 millones de años, procedentes de América del Sur, luego de haber recorrido una ruta a través de la Antártida, que conectaba a los dos continentes por el sur y tenía un clima más benévolo que el actual. Posteriormente, otras abejas que ya se encontraban en el continente asiático también habrían colonizado Australia. En cuanto a la India, ellas ha-

bían llegado allí hace unos 50 millones de años, después de que el territorio del país indio actual, que se había separado de Gondwana antes del origen de las abejas, chocara con el continente asiático y se encontrara con la fauna local.

Aún se desconoce el aspecto del antepasado de las abejas: ¿era grande o pequeño, vivía en sociedades organizadas en colmenas o era solitario? Almeida arriesga una conjetura: probablemente haya sido solitario, ya que hoy en día, el 85 % de las especies tienen este tipo de hábitos, con sus miembros viviendo en madrigueras individuales en el suelo. Él también ha estado investigando la forma de reconstruir la morfología ancestral de estos insectos.

La hipótesis de que las abejas surgieron en la parte occidental de Gondwana, que incluía América del Sur y África, no es nueva. Fue planteada por el entomólogo estadounidense Charles Michener (1918-2015) en 1979, en un artículo publicado en la revista *Annals of the Missouri Botanical Garden*.

“Abuelo” académico de Almeida, Michener es un referente del estudio de la evolución de las abejas y llegó a pasar un año en Brasil, en 1956, trabajando con el entomólogo brasileño Jesus Santiago Moure (1912-2010), más conocido como el padre Moure, en la UFPR en Curitiba. “Cuarenta años después, el avance de los análisis genéticos e informáticos, sumado al hallazgo de varios fósiles de abejas, nos han permitido aportar más evidencias y nuevos datos a favor de su hipótesis”, dice el investigador de Ribeirão Preto.

La bióloga Vera Lucia Imperatriz Fonseca, del campus de São Paulo de la USP, quien no participó del estudio, sostiene

que la investigación es la filogenia de las abejas más amplia que se haya elaborado. “Antaño estudiábamos las abejas de nuestro patio. Hoy en día podemos estudiar a las abejas de todo el mundo”, dice, a la vez que remarca la importancia de la preservación y expansión de las colecciones de insectos del país, incluyendo a las abejas, para que este tipo de investigaciones se amplíe.

“La sociedad entre las abejas y las flores a lo largo de millones de años es otro de los puntos que el trabajo ayuda a pensar”, dice el biólogo Guilherme Cunha Ribeiro, de la Universidad Federal del ABC (UFABC), quien tampoco formó parte del estudio. En un artículo publicado en 2022 en la revista *Cretaceous Research*, Cunha Ribeiro y otros colegas describieron una nueva especie extinta de avispa de la familia de los crabronidos (*Crabronidae*), bautizada con el nombre científico *Exallopterus spectabilis*, cuyo fósil fue encontrado en la Formación Crato, en Nova Olinda, estado de Ceará. Su edad se estimó entre 125 y 115 millones de años.

“Nosotros sostenemos que si la familia *Crabronidae*, a la que algunos estudios consideran como hermana de las abejas, ya existía en aquel intervalo, entonces las abejas también ya habrían de existir”, dice Cunha Ribeiro. Como aún no se han hallado fósiles de abejas en la región, pese a la gran abundancia de insectos ya recolectados, sugiere que una de las explicaciones podría ser que éstas se hayan diversificado en áreas más meridionales de Gondwana.

Almeida explica que, en algún momento, las avispas carnívoras se volvieron vegetarianas, pasaron a alimentarse de polen y, posteriormente, surgieron las abejas. “Ellas se hicieron dependientes de las flores y se convirtieron en el principal grupo responsable de la polinización”. Por eso, una de las conclusiones del estudio que él coordinó apunta que la abundante biodiversidad vegetal de América del Sur está relacionada con el hecho de que es el continente en donde las abejas llevan más tiempo existiendo. Tardaron millones de años en establecerse, adaptarse y diversificarse. “Si los cambios climáticos llegan a transformar los ambientes de manera radical, no sabemos si serán capaces de adaptarse”, advierte. ■

Los proyectos y artículos científicos consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión online de la revista.



Macho de una abeja recolectora de aceite (*Centris varia*) sobre una flor de nenúfar en Capão da Canoa, Rio Grande do Sul

GEOLOGÍA

# LA LARGA HISTORIA DEL VELHO CHICO

En 90.000 años, el río São Francisco perdió curvas, se alineó y ganó profundidad, bajo el fuerte impacto de la erosión y las represas

Carlos Fioravanti

**E**l río São Francisco alguna vez fue bastante sinuoso, como así también más extenso y menos profundo: no se parecía para nada a los cañones de Xingó, que se formaron hace cientos de millones de años en el límite entre los estados brasileños de Sergipe y Alagoas, donde sus aguas fluyen ahora entre paredones rocosos de hasta 50 metros (m) de altura.

En los últimos 90.000 años, en respuesta a las variaciones del régimen pluvial y de la vegetación de sus orillas, el formato del río popularmente conocido como *Velho Chico* cambió considerablemente. Su curso atraviesa 521 municipios y tiene una longitud de 2.863 kilómetros (km) desde su cabecera en Serra da Canastra, en Minas Gerais.

Cuando las lluvias eran abundantes, como lo fueron en el período comprendido hace entre 90.000 y 66.000 años, el río arrastraba grandes cantidades de sedimentos y excavaba el terreno. Si la cantidad de sedimentos aumentaba demasiado, el mismo depositaba arena en su lecho y en sus orillas, adquiriendo una forma entrelazada, con múltiples canales fluyendo simultáneamente. Con menos sedimentos y precipitaciones moderadas, formaba curvas amplias y sinuosas, llamadas meandros, hace entre 66.000 y 39.000 años y entre 19.000 y 9.000 años. Los ríos con meandros son comunes en los ambientes tropicales y subtropicales, como el Purú y el Yuruá (o Juruá, en su recorrido brasileño), en la Amazonia, los más sinuosos del mundo, y el Misisipi en Estados Unidos.

Su curso actual, unos 20 metros por debajo de la antigua posición, tomó forma hace unos 5.000 años, según el análisis de los sedimentos llevado a cabo por investigadores de la Universidad de São Paulo (USP), la Universidade Estadual Paulista (Unesp) y las universidades federales de São Paulo (Unifesp) y de Alagoas (Ufal).

La geóloga Patrícia Mescolotti subraya que la edad de 90.000 años es el límite del método utilizado para comprobar cuándo la luz solar alumbró por última vez los cristales de cuarzo de la arena de sus márgenes antes de quedar cubiertos por sedimentos más recientes. “El río sería más antiguo, pero aún no hemos podido comprobarlo”, dice la investigadora, quien trabaja en la Universidad Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), en Campo Gran-

de, desde mayo de 2022. Al describir las unidades geomorfológicas del río en un artículo publicado en enero de 2022 en la *Revista Brasileira de Geomorfologia*, los geólogos Landerlei Santos, de la Unesp, y Edgardo Latrubesse, de la Universidad Federal de Goiás (UFG), ya habían observado que algunos tramos de llanura podrían haberse formado al final del Pleistoceno, hace entre 10.000 y 82.000 años.

Durante su doctorado en la Unesp de Rio Claro, bajo la dirección del geólogo Mario Assine y del geógrafo de la Unifesp Fabiano Pupim, Mescolotti examinó los sedimentos recogidos en 51 puntos a lo largo de las orillas del río en Bahía y de las dunas del municipio de Xique-Xique, en Bahía (*véase el recuadro*). También estudió fotos aéreas e imágenes satelitales, que muestran el lecho antiguo del río –en forma de pequeñas herraduras, que se fueron perdiendo a medida que las aguas encontraron vías más fáciles donde fluir– y ayudaron a reconstruir las terrazas aluviales (antiguas llanuras de inundación o vegas), que se extendían más allá de las antiguas riberas de los ríos.

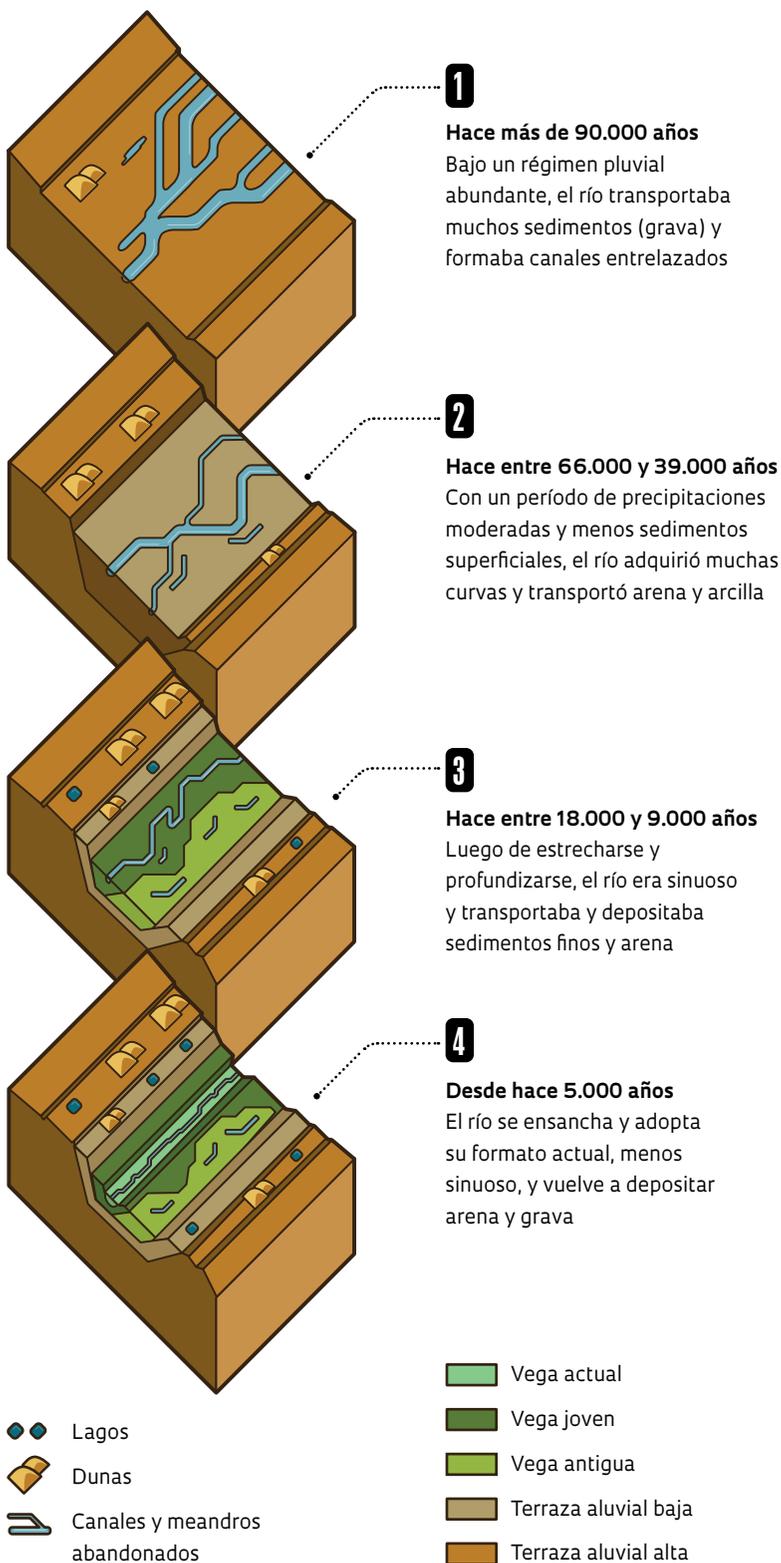
“Pese a ser un río representativo del nordeste brasileño, el caudal del São Francisco parece estar controlado por el sistema monzónico de Sudamérica [que se caracteriza por sus lluvias intensas en verano y escasas en invierno], que lleva la humedad de la Amazonia hacia el sudeste de Brasil”, comenta Pupim. A diferencia de otros grandes ríos, que se abastecen de afluentes a lo largo de todo su curso, el São Francisco recibe la mayor parte del agua en su tramo inicial, a través de afluentes como el río Das Velhas, el mayor de ellos, el Paracatú y el Urucuia. “Tal como viene ocurriendo desde hace miles de años, alrededor de dos tercios del agua del río siguen manando de la región de sus cabeceras, en Minas Gerais”. Hasta el municipio de Januária, en Minas Gerais, a menos de 1.000 kilómetros de su cabecera, el río ya acumula casi el 70 % de su volumen, como se indica en un artículo publicado en abril de 2021 en la revista *Quaternary Science Reviews*.

Simultáneamente, el geólogo de la USP Cristiano Mazur Chiessi y su equipo examinaron el comportamiento de la cuenca del río São Francisco a través del análisis de las proporciones de dos formas distintas de hidrógeno y carbono en restos de árboles y gramíneas acumulados en sedimentos marinos recolectados en 2016 a 1.897 m de profundidad,

Los cañones de Canindé do São Francisco, en el estado de Sergipe, uno de los panoramas que muestra el río abastecido principalmente por las aguas de las sierras de Minas Gerais

# CÓMO SE ABRE CAMINO UN RÍO

El São Francisco ha excavado la roca y ha depositado sedimentos, se ha alineado y ha ganado profundidad a lo largo de su historia geológica



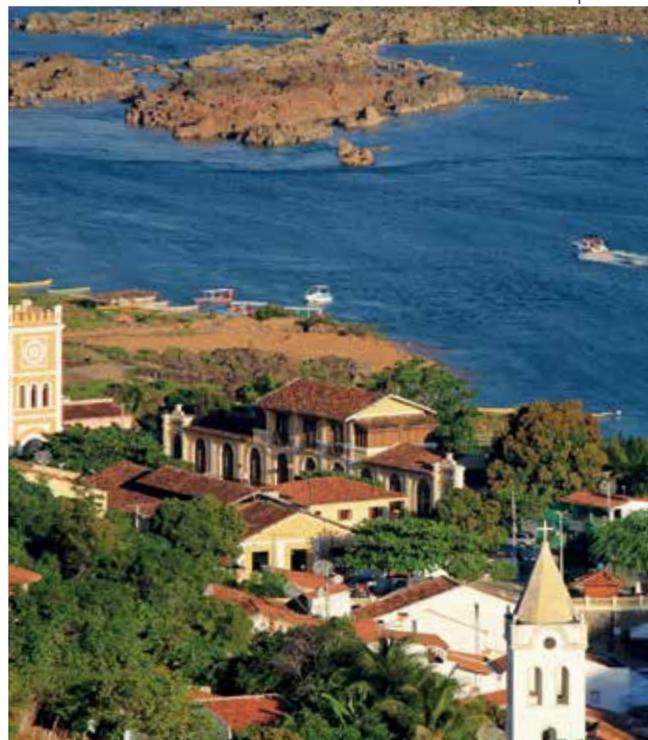
FUENTE: MESCOLOTTI, P. C. ET AL. QUATERNARY SCIENCE REVIEWS. 2021

a menos de 1 km de la desembocadura, en el límite entre los estados de Alagoas y Sergipe. Las conclusiones fueron similares a las del grupo de Pupim: “Las lluvias en la cuenca de drenaje del río São Francisco, principalmente en la cabecera y el curso medio, proceden en su mayoría de la Amazonia”, comenta Mazur Chiessi. “No hemos observado cambios significativos a largo plazo en la fuente de humedad”.

La distribución de las formas de hidrógeno y carbono indicó los períodos de mayor y menor pluviosidad en la cuenca del São Francisco. “Cuando la estación seca era más breve, los árboles ocupaban más espacio en el Cerrado [la sabana tropical brasileña] del tramo inicial de su cuenca. En épocas de estación seca larga, por el contrario, predominaban las gramíneas”, explica Jaqueline Quirino Ferreira, geóloga de la USP y autora principal de un artículo publicado en marzo de 2022 en la revista *Quaternary Science Reviews*, en donde se detallan los resultados.

Una peculiaridad del *Velho Chico* es que atraviesa tres ambientes naturales: el Bosque Atlántico, el Cerrado y la Caatinga [matorral xerófilo]. “Esto constituye una excepción, porque los ríos largos con una trayectoria aproximada norte-sur o sur-norte suelen atravesar más de un tipo de ambiente natural, como el Paraná, que cruza el Bosque Atlántico y el sur de Brasil y Argentina”, comenta el geólogo José Cândido Stevaux, actualmente en la Universidad Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), en Três Lagoas, quien colaboró con Mescolotti.

El São Francisco cuenta con uno de los mayores lagos artificiales del mundo, la represa de Sobradinho, de 4.214 km<sup>2</sup>, que abastece a la central del mismo nombre en el norte del estado de Bahía. Esta y las otras cuatro grandes centrales hidroeléctricas (Três Marias, Luís Gonzaga, Xingó y Paulo





Ahora cortadas por ríos, las dunas de Xique-Xique (Bahía), cubrían antaño una superficie continua

2

## DUNAS EN MOVIMIENTO

Con base en el análisis de granos de arena recolectados a profundidades de hasta 2 metros, se pudo establecer que las dunas de Xique-Xique, en Bahía, que hoy en día ocupan una superficie de 8.000 km<sup>2</sup>, comenzaron a formarse en épocas de clima seco, con las arenas que depositaba el río São Francisco, hace al menos 150.000 años, tal como se lo describe en un artículo publicado en enero en la revista *Geomorphology*.

“En varios tramos, las dunas eran antes más extensas y formaban una única área, que hoy está cortada por los ríos que desembocan en el São Francisco”, explica Patrícia Mescolotti, de la UFMS. A cada lado viven especies distintas de reptiles y mamíferos, que se han diferenciado a partir de una especie única.

Los médanos, de hasta 30 metros de altura, se desplazan no solo en función de la acumulación de arena del río, que los alimenta, sino también como consecuencia de la eliminación de la vegetación de las orillas de los ríos y la intensidad de las sequías, explican Santos y Latrubesse en un artículo publicado en noviembre de 2021 en la revista *Geomorphology*. Ellos han observado que las dunas migraron una media de 15 metros al año (m/a) entre 2002 y 2010 y 9,4 m/a entre 2000 y 2019.

Hace unos 15 años, la arena de las dunas de Geleia cubrió las calles y las casas de la aldea de Icatu, en el municipio de Barra, en Bahía, obligando a sus habitantes a trasladarse a los médanos ya asentados.

Afonso) modifican el ancho, la profundidad, la velocidad y el caudal del río y, en consecuencia, la vida de los habitantes de las poblaciones cercanas.

“Los efectos de las represas son más evidentes cerca de la desembocadura y especialmente en tres municipios del estado de Alagoas –Piranhas, Pão de Açúcar y Traipu– y uno de Sergipe: Propriá”, dice el geógrafo Genisson Panta, doctorando en la Universidad Federal de Pernambuco (UFPE) y docente de enseñanza media en una escuela pública estadual de Maceió [Alagoas]. A instancias de Stevaux, a quien conoció en un congreso celebrado en Fortaleza (Ceará), viene estudiando estos cambios desde 2019 y los presentó en un artículo publicado en enero en la revista *Journal of South American Earth Sciences*.

Con base en investigaciones de campo y analizando datos de estaciones hidrométricas, que miden el caudal del río, arribó a la conclusión de que en Piranhas, la profundidad del río se redujo como

respuesta al aumento del caudal provocado por la central hidroeléctrica de Xingó, situada en el límite entre Alagoas y Sergipe, puesta en marcha en 1994. “Antes, había una capa de sedimentos en el fondo del río, que ajustaba la profundidad en función del aumento del caudal”, dice. Con la construcción de la represa, esa cubierta fue removida, las rocas del lecho quedaron al descubierto y el río solamente pudo hacer ajustes laterales, aumentando su ancho.

En el tramo comprendido entre Propriá, en Sergipe, y Porto Real do Colégio, en Alagoas, el río avanzó unos 250 metros sobre la orilla, entre 1969 y 2022. “Es una tasa de erosión muy alta, de unos 5 metros al año”, explica. Según él, la erosión no es continua, sino episódica: “Una sola crecida puede arrastrar toneladas de sedimentos”.

En Propriá, el caudal del río se ha mantenido, pero su anchura ha aumentado, de 600 a 720 metros tras la puesta en marcha de la represa de Xingó, en 1994, situada a 150 kilómetros del municipio. En Carinhanha, en la región sudoccidental de Bahía, fue la profundidad del río la que pasó de 2 m a 3 m tras la construcción de la represa de Três Marias, 700 km al sur, también concluida en 1994. “Los valores hallados son similares a los de otros sistemas fluviales tropicales, como el Tocantins-Araguaia y el Paraná”, dijo.

En Piaçabuçu, un municipio de Alagoas ubicado a 10 kilómetros de la desembocadura, una proporción inusual de adolescentes y adultos presentaba hipertensión, cuya causa se dilucidó en 2017: durante los períodos de sequía, el mar invadía el cauce del río y la gente consumía agua salobre sin tratar. “El mar avanza con más facilidad sobre la desembocadura porque, tras la construcción de las represas, el caudal del río se regula según la demanda de generación eléctrica”, dice Panta.

El río São Francisco, bautizado con su nombre actual en 1501 por el navegante italiano Américo Vesputio (1454-1512) y aún hoy en día escenario de espectáculos como la procesión en barcos, que tiene lugar a principios de enero en Penedo (Alagoas), sigue transformándose en función de la intervención de fuerzas tanto humanas como naturales. Uno de los grandes proyectos en marcha es la transposición de sus aguas, que comenzó en 2007 y se inauguró parcialmente en 2022, con la construcción de 700 kilómetros de canales de hormigón para abastecer a los cultivos y a los habitantes del interior del nordeste brasileño.

“Para que esto funcione, hay que planificar bien cuánta agua extraer y cómo distribuirla, quizá evitando hacerlo en determinadas épocas del año para no perjudicar al río”, dice Stevaux. “Hay cientos de ríos en todo el mundo que han sido trasvasados. Los efectos de las represas son mucho peores”. ■

En Piranhas (Alagoas), el río perdió profundidad como respuesta al aumento del caudal provocado por la central hidroeléctrica de Xingó

Los artículos científicos consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.

# LA CONTRIBUCIÓN DEL MANTO VERDE

Con una extensión casi igual a la de China, la superficie del suelo terrestre cubierta por musgos extrae de la atmósfera 6.430 millones de toneladas de carbono por año

Guilherme Eler

Los suelos cubiertos de musgos absorben cada año 6.430 millones de toneladas más de carbono de la atmósfera que los ambientes terrestres sin este tipo de vegetación. Esta cifra, que surge de un cálculo realizado en el marco de un estudio internacional publicado en mayo en la revista científica *Nature Geoscience*, equivale a más de seis años del total de las emisiones mundiales de carbono asociadas a los cambios en el uso de la tierra, como la transformación de tramos de bosques en campos agrícolas o en pasturas. Como todos los vegetales, los musgos captan dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a través de la fotosíntesis y así contribuyen a reducir el nivel de este gas en la atmósfera, el principal responsable del



Los musgos fueron una de las primeras plantas que conquistaron el ambiente terrestre, hace casi 500 millones de años

dio terrestre, hace casi 500 millones de años. Son especialmente importantes en los lugares donde las plantas vasculares no sobreviven y pueden tapizar el suelo de bosques y campos, como así también prosperar en los troncos de los árboles y sobre las rocas. Hoy en día comprenden al menos 12.000 especies vegetales, que se distribuyen por todos los continentes.

**E**l estudio contó con la participación de 50 científicos de todo el mundo, que proporcionaron muestras de musgos de climas tropicales, como del desierto australiano, y de zonas heladas como la Antártida. Se analizaron especímenes procedentes de áreas boscosas, de praderas y pasturas, oriundos de ambientes silvestres y urbanos. De Brasil solamente se incluyeron muestras de musgos extraídas del bioma local del Cerrado, la sabana tropical del país.

Los datos del trabajo corroboran la importancia de la preservación de los suelos con musgos, hasta ahora poco estudiados. “En el actual escenario de cambios climáticos globales, es necesario promover los estudios concernientes a este grupo de plantas, muy sensibles a las alteraciones en su hábitat, y no solo los de la flora vascular”, dice el botánico Alberto Teixido, de la Universidad Complutense de Madrid, uno de los autores del artículo. De origen español, Teixido vivió ocho años en Brasil, hasta julio del año pasado, período en el que realizó una pasantía posdoctoral en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) y posteriormente trabajó como profesor visitante en la Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT). Otro autor del trabajo vinculado a Brasil es el biólogo colombiano Gabriel Peñaloza Bojacá, quien realizó su doctorado en la UFMG.

La idea del estudio consistió en analizar suelos cubiertos por musgos y compararlos con otras regiones en donde no existe este tipo de cobertura. En total, los investigadores identificaron 24 contribuciones diferentes que los musgos proporcionan al suelo y a otras plantas. Este tipo de vegetación, por ejemplo, tiene influencia en el microclima de los ecosistemas y ayuda a controlar la humedad y la temperatura. Además de reducir la presión sobre el calentamiento global, el carbono que absorben los musgos contribuye al crecimiento de las plantas vecinas. En los suelos habi-

tados por musgos, hay una concentración más alta de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y magnesio, aparte de una mayor actividad enzimática.

Estos beneficios se deben al hecho de que los musgos, especialmente los del género *Sphagnum*, consiguen crear un ecosistema húmedo y con materia orgánica que sirve de hogar a toda una gama de microbios, hongos y animales invertebrados. Todo esto se refleja en una circulación mayor de nutrientes y en una descomposición más veloz de la materia orgánica. Cuando se comparan los suelos con musgos con las superficies que no cuentan con este tipo de vegetación, también se verifica una menor erosión y menos agentes patógenos que causan enfermedades en las plantas.

Según Teixido, no hay datos consolidados sobre la importancia de los musgos en los ecosistemas brasileños. “Necesitamos más expertos que se ocupen de describir e identificar la fisiología y la ecología de los musgos en los distintos ecosistemas, como por ejemplo en la Amazonia”, comenta el español. Según el proyecto Flora y Hongos de Brasil, coordinado por el Jardín Botánico de Río de Janeiro, se conocen 896 especies de musgos en el país, gran parte de ellos en zonas ocupadas por el Bosque Atlántico.

Aunque reconoce que la estimación de la superficie mundial cubierta por musgos es impresionante, el botánico Denilson Fernandes Peralta, del Instituto de Investigaciones Ambientales (IPA, por sus siglas en portugués) del estado de São Paulo, señala algunas limitaciones del nuevo estudio. “No se incluyeron en el trabajo ejemplares de musgos de biomas brasileños importantes, tales como el Bosque Atlántico, la Amazonia y la Caatinga, además de la Patagonia sudamericana y la tundra del hemisferio norte”, dice Fernandes Peralta, experto en plantas sin semillas, flores o frutos que se reproducen por esporas, como las briófitas. “Esto significa que los datos del estudio pueden haber sido subestimados y se encuentran sujetos a nuevas revisiones”. Así y todo, según él, la investigación presentada en el artículo es una de las más importantes referidas a la distribución y los servicios ecosistémicos que prestan los musgos. ■

El artículo científico consultado para la elaboración de este reportaje figura en la versión online de la revista.

ENERGÍA

# LA FUERZA DE LA SAL

Dispositivo de prueba de carga y descarga de pilas de ion de sodio tipo moneda

## Investigadores preparan el primer prototipo brasileño de batería de sodio, que puede erigirse como alternativa a los módulos de almacenamiento de litio

Domingos Zapparoli

**E**l sodio (Na) es un elemento químico abundante en la naturaleza, que se encuentra presente en el agua del mar y en las reservas de sal de todos los continentes. Los expertos consideran que esta sustancia podría ser una alternativa de peso en el proceso de almacenamiento de la energía, con posibilidades de sustituir hasta un 25 % del nicho que actualmente ocupan las baterías de litio, que equipan coches eléctricos, drones, teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, tabletas y otros dispositivos electrónicos.

Un equipo de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Computación de la Universidad de Campinas (Feec-Unicamp) trabaja en el desarrollo del primer prototipo brasileño de una batería de sodio. En la actualidad, tan solo la industria china produce baterías comerciales con esta tecnología y está previsto que los primeros vehículos eléctricos dotados con estos módulos salgan al mercado antes de fin de año.

El proyecto brasileño se desarrolla en el ámbito del Centro de Innovación en Nuevas Energías (Cine), un Centro de Investigaciones en Ingeniería (CPE, en portugués) apoyado por la FAPESP y la compañía petrolera anglo-neerlandesa Shell. “Estamos en condiciones de desarrollar la tecnología y producir los primeros prototipos”, dice el físico Hudson Zanin, docente de la Feec-Unicamp y director del proyecto de investigación.

Junto con colegas de la empresa WEG, con sede en el estado de Santa Catarina, especializada en la fabricación de motores eléctricos, los investigadores de la Unicamp presentaron recientemente una propuesta de proyecto al programa federal Ruta 2030, de estímulo a la innovación en la cadena productiva automovilística. La propuesta tiene por objeto el desarrollo y la producción de bate-

rias de sodio de 1 amperio-hora (Ah), con módulos de almacenamiento energético de 1,2 kilovatios-hora (kWh), adecuadas para equipar automóviles eléctricos híbridos. Estos vehículos funcionan con combustibles líquidos, como gasolina y etanol, y disponen de un propulsor eléctrico complementario accionado por el propio motor de combustión.

Las tecnologías de las baterías de sodio y litio son muy similares, explica Zanin. En ambas, los iones (un conjunto de átomos con carga eléctrica) ejecutan la tarea de transportar y almacenar electrones durante los procesos de carga y descarga de energía. Para ello, los iones penetran en la estructura de los electrodos, constituidos por un polo positivo, el cátodo, y un polo negativo, el ánodo.

La diferencia radica en que el ion de sodio es mayor que el ion de litio y, por esta razón, le resulta más difícil penetrar en la estructura de los electrodos. Esto requiere el desarrollo de electrodos que faciliten esta operación. “En las baterías de litio, el ánodo está hecho de grafito; en las baterías de sodio, de otra estructura de carbono. Una utiliza cátodos a base de litio y la otra, de sodio”, describe Zanin.

En agosto de 2022, el equipo de la Unicamp publicó un artículo en la revista *Journal of Energy Storage* demostrando el potencial de utilización de un nuevo material compuesto por nanotubos de carbono con nanopartículas de pentóxido de niobio en la fabricación de los electrodos que incrementa la capacidad y la velocidad de transporte y almacenamiento de cargas eléctricas de los iones de sodio. En el estudio, se evaluaron electrodos de sodio utilizados en baterías y supercondensadores, dispositivos electrónicos que se emplean para almacenar energía.

La investigación se llevó a cabo durante el doctorado en ingeniería eléctrica de la ingeniera en

computación Carla Martins Real, bajo la dirección de Zanin, y contó con la participación de investigadores de la Universidad del Estado de Kansas (EE. UU.), la Universidad Federal de Mato Grosso (UFMT) y la Universidad Federal de Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), de Minas Gerais.

**E**n la actualidad, se considera que las baterías de litio constituyen la tecnología más eficiente para compactar energía (lea en Pesquisa FAPESP, edición n° 285). En un mismo volumen físico, son capaces de cargar un 30 % más de energía que una batería de sodio. Además, son más duraderas porque poseen mejor ciclabilidad, es decir, realizan una cantidad mayor de ciclos de carga y descarga de energía. Mientras que la vida útil de una batería de litio es de 12.000 ciclos, las baterías de sodio, por ahora, no llegan a 4.000 ciclos.

Sin embargo, según pondera Zanin, los módulos de sodio ofrecen importantes ventajas competitivas que pueden impulsar su uso en los próximos años. “El sodio es un insumo accesible y disponible en cualquier país. Su refinamiento a gran escala aportará una mayor factibilidad económica a las baterías de sodio en comparación con las de litio, que estarán sujetas a una fuerte demanda de mercado”, sostiene.

El litio es un mineral cuyas reservas conocidas son limitadas y su presencia se concentra en unos pocos países, entre ellos, Bolivia, Chile, Argentina, Portugal y Australia. En Brasil, la única reserva comercialmente viable conocida se encuentra en la zona de Vale do Jequitinhonha, en Minas Gerais. Según una estimación de 2021 de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el consumo de litio se incrementará 75 veces de aquí a 2050.

La consultora mundial Benchmark Mineral Intelligence calcula que será necesario abrir 59 minas nuevas de litio solamente para satisfacer la demanda prevista hasta 2035. “Como no habrá litio para todos, el sodio puede ser una alternativa”, dice Zanin.

Otro problema que presenta el litio, según explica el investigador, radica en que el proceso de refinación del mineral hasta alcanzar el grado adecuado para su uso en las baterías consume una gran cantidad de energía. Cuando las fuentes energéticas que se utilizan no son renovables, subraya, el proceso de producción tiene un gran impacto ambiental. “En cambio, la extracción y el procesamiento del sodio generan una huella de carbono muy baja”, compara.

Aun con estas ventajas, según evalúa el químico Roberto Manuel Torresi, experto en materiales electroactivos del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo (IQ-USP), las baterías de sodio no reemplazarán a los módulos de almacenamiento de litio, sino que ocuparán nichos de mercado diferentes.

A su juicio, debido a su densidad, las baterías de litio suelen predominar en los dispositivos electrónicos livianos. La tecnología que emplea sodio se aplicará en las baterías estacionarias, que se utilizan en los sistemas de seguridad energética en centros de procesamiento de datos y cajeros automáticos o en el almacenamiento de la energía eólica y solar fotovoltaica, reduciendo las intermi-

## LAS BATERÍAS DE SODIO OCUPARÁN NICHOS DE MERCADO ESPECÍFICOS, COMO EL DEL ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SOLAR



Anna Peluso, con una maestría en curso en la Unicamp, trabaja en el montaje de las baterías de sodio

# QUE NO SE PRENDAN FUEGO

Desarrollan en Brasil un aditivo para evitar que las baterías se inflamen

Una característica indeseable de las baterías es que son inflamables. Los golpes, las perforaciones y el sobrecalentamiento suponen riesgos para la seguridad de los usuarios de teléfonos inteligentes, computadoras portátiles y vehículos eléctricos. Científicos del Cine, centro que cuenta con el apoyo de la FAPESP y la multinacional Shell, desarrollaron un aditivo capaz de evitar que estos aparatos se incendien.

“El aditivo en cuestión es un polímero que, añadido al electrolito de la batería, evita que esta se prenda fuego”, explica el físico Hudson Zanin, de la Feec-Unicamp. La fórmula del polímero utilizado se mantiene en secreto, ya que la patente de la tecnología se encuentra en etapa de análisis en el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI). El electrolito es una sustancia generalmente líquida conductora de los iones eléctricos entre los dos polos (cátodo y ánodo) de una batería. Suele fabricarse a partir de hidrocarburos fósiles, obtenidos en el proceso de refinación del petróleo. Por lo tanto, se trata de un compuesto inflamable.

“La innovación diseñada por nuestro grupo utiliza electrolitos convencionales a los que se añade el aditivo que plastifica y une sus moléculas evitando un posible incendio del aparato”, explica Zanin. En los ensayos realizados en la Unicamp, las baterías con el aditivo fueron cortadas, perforadas y expuestas al fuego y no se incendiaron ni explotaron.

Según el investigador, el aditivo tendrá una participación pequeña en la fórmula del electrolito. Como el polímero utilizado para fabricarlo es barato y accesible, la eventual aplicación de esta tecnología no tendrá un impacto significativo en el costo final de la batería o de los supercondensadores, dispositivos electrónicos que también se utilizan para almacenar energía.

La *startup* paulista Brenergies Solutions, una *spin-off* de la Feec-Unicamp conformada por docentes y estudiantes de la institución, se hará cargo de la oferta del aditivo en el mercado. Todavía no se han fijado plazos para ello.

La búsqueda mundial de tecnologías tendientes a evitar que las baterías se incendien



El prototipo de la batería diseñada por el grupo de Campinas (São Paulo) no se incendia al cortarla

generó su primer producto en 2021, con el lanzamiento de una batería de litio-hierro-fosfato menos inflamable desarrollada por el fabricante chino de vehículos eléctricos BYD. La nueva batería fue puesta a prueba en condiciones extremas, que incluyeron su perforación, trituración y calentamiento en un horno a 300 grados Celsius (°C), sin que se registren incendios ni explosiones. Este módulo ya equipa a algunos vehículos de la compañía.

tencias en el suministro de electricidad producto de la falta de viento y de sol. “En otras palabras, las baterías de sodio son interesantes, pero están pensadas para aplicaciones específicas”, dice Torresi.

## EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Con todo, Zanin también vislumbra en esta tecnología un potencial en el área de la movilidad eléctrica. Inicialmente, espera que se la utilice en vehículos de gran porte, tales como autobuses, camiones, trenes y barcos.

En China, los fabricantes de automóviles anunciaron que se aprestan a lanzar, este mismo año, coches eléctricos provistos de baterías de iones de sodio. La empresa BYD, que también fabrica baterías, utilizará su propia tecnología, y la compañía Chery adoptará los módulos diseñados por la fabricante china de baterías CATL. Desde febrero, un modelo eléctrico de Jac Motors está probando un sistema creado por la firma HiNa Battery.

La corporación francesa fabricante de automóviles Renault, que mantiene una asociación comercial con la empresa china Jiangling Motors Electric Vehicle (JMEV), anunció el lanzamiento de su primer vehículo con baterías de sodio para el segundo semestre del año, con tecnología suministrada por la firma china Farasis Energy. “La

disponibilidad de sodio en abundancia en prácticamente todos los países”, vaticina Zanin, “dará lugar al surgimiento de diversas tecnologías de almacenamiento de energía y diferentes procesos de producción en todo el mundo”.

Para Flávia Consoni, fundadora y coordinadora del Laboratorio de Estudios de Vehículos Eléctricos (Leve), con sede en el Instituto de Geociencias (IG) de la Unicamp, las baterías siguen constituyendo el gran cuello de botella para la expansión de la movilidad eléctrica en función de la creciente demanda de recursos naturales y los impactos ambientales y sociales asociados a la minería. Es por ello que siempre son necesarias y bienvenidas las propuestas que exploran el uso de otros minerales, más allá del litio. “Las baterías de sodio ya son una realidad en aplicaciones estacionarias. Tienen potencial para otras finalidades, pero por ahora ésta es una apuesta a futuro. Pese a los avances recientes, aún hay algunas cuestiones tecnológicas por resolver, como la ampliación de su densidad energética. Estos son aspectos que deben solucionarse, sobre todo si se piensa en aplicaciones que exigen una alta densidad energética”. ■

El proyecto y el artículo científico consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.

**U**n sensor descartable de bajo costo y fácil de usar, hecho de cartulina con el agregado de partículas de oro, podría convertirse en una herramienta útil para controlar la calidad del agua que consume la población. Este dispositivo de análisis, que se encuentra en su etapa final de desarrollo, fue diseñado por el equipo del químico Thiago Regis Longo Cesar da Paixão, del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo (IQ-USP) y coordinador del Laboratorio de Lenguas Electrónicas y Sensores Químicos de la misma institución, en Brasil. La investigación, con el apoyo de la FAPESP, dio lugar a un artículo que salió publicado a principios de este año en la revista científica *Sensors & Diagnostics*. El grupo está elaborando una solicitud de patente del proceso de fabricación.

“La producción de sensores de bajo costo que puedan distribuirse por todo Brasil permite que se pueda controlar en tiempo real el agua provista a la población. Los datos recabados pueden orientar el diseño de políticas públicas por los organismos gubernamentales y ayudarlas en la toma de decisiones a las empresas potabilizadoras”, subraya Longo Cesar da Paixão. El costo estimativo del sensor, sujeto a confirmación, es de 0,50 reales.

El proceso de fabricación del dispositivo, un pequeño rectángulo de cartulina o cartón delgado que mide 15 milímetros (mm) de ancho por 20 mm de largo y 1 mm de espesor, está prácticamente libre de los reactivos químicos usualmente empleados en la fabricación de sensores, y es casi totalmente automático. Además de la cartulina, que podrá ser producto de un proceso de reciclado, los insumos utilizados por los investigadores incluyen cola adhesiva, un aerosol impermeabilizante y un pequeño volumen de una solución de oro (30 microgramos). Un láser de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aplicado sobre la cartulina se encarga de generar las pistas conductoras, la base de los electrodos de detección. La solución de oro se añade a las pistas y, a continuación, se aplica nuevamente un láser que sintetiza las nanopartículas de oro (véase la infografía al lado).

“Las nanopartículas mejoran el desempeño del dispositivo”, explica el investigador. “El sensor mide la corriente eléctrica procedente de una reacción electroquímica que tiene lugar en la superficie conductora al aplicarle un voltaje. Cuanto mayor es la concentración de la sustancia química que se desea identificar en la muestra de agua dispuesta sobre el sensor, mayor será la corriente generada”. El potencial eléctrico que ha de aplicarse en el electrodo central para que el dispositivo

## TEST DE

# CALIDAD

Un sensor de cartulina modificada con partículas de oro podría ayudar a controlar la calidad del agua que consume la población

Yuri Vasconcelos

Un láser de dióxido de carbono incide sobre el cartón creando una pista conductora que dará origen a los electrodos del sensor



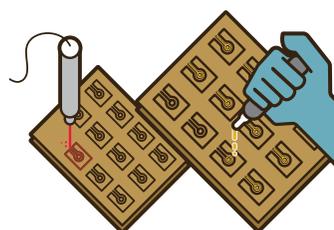
# CÓMO SE FABRICA EL NUEVO SENSOR

El proceso está automatizado casi por completo y demora unos 5 minutos en completarse



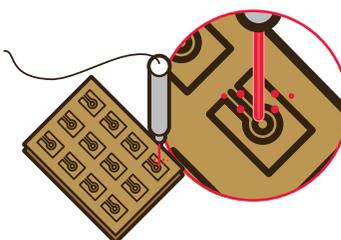
## 1 PREPARACIÓN DE LA CARTULINA

Se unen con cola dos hojas de papel de estraza y se las coloca en una prensa térmica. Se aplica un aerosol impermeable de barniz blanco para evitar que el papel absorba la solución de la muestra durante la realización de las mediciones



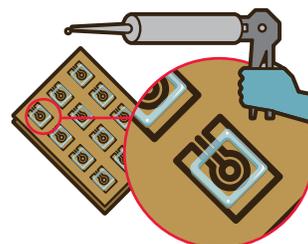
## 2 CREACIÓN DEL ELECTRODO DE DETECCIÓN

Un láser de dióxido de carbono aplicado al papel convierte la celulosa en carbono y crea una pista conductora que da origen a tres electrodos de detección. Se le añade una solución de oro a la pista



## 3 SÍNTESIS DE LAS NANOPARTÍCULAS

Se aplica nuevamente un láser para sintetizar las nanopartículas de oro. En este proceso, los iones de oro se convierten en oro metálico a partir de la energía del láser



## 4 IMPERMEABILIZACIÓN DE LA SUPERFICIE

Se deposita un pegamento de silicona sobre la superficie del sensor con el propósito de crear una barrera para confinar la solución de la muestra de agua durante el proceso de detección

FUENTE THIAGO REGIS LONGO CÉSAR DA PAIXÃO (IQ-USP)

funcione es de 0,2 voltio (V), inferior al de una pila pequeña del tipo AAA (1,5 V).

El hecho de que pueda fabricarse sin manipulación humana le confiere ventajas. “En el laboratorio, solemos seguir una serie de etapas manuales para la elaboración de los sensores. Esto hace que los dispositivos no tengan tanta reproducibilidad. Cuando empleamos máquinas, como la que emite el láser, evitamos esta intervención artesanal en el proceso de fabricación del dispositivo”, relata Longo Cesar da Paixão.

El químico Wendell Karlos Tomazelli Coltro, director del Instituto de Química de la Universidad Federal de Goiás (IQ-UFG), quien no participó en el estudio, coincide. “La tecnología basada en el uso de un láser es muy atractiva pues permite escalar la producción con alta reproducibilidad”, analiza. Para Tomazelli Coltro, el dispositivo presenta un alto nivel de innovación. “El equipo de la USP ha sido pionero en la apuesta por el uso del láser para producir sensores de cartulina. El uso de este material hace que el dispositivo sea sostenible y permite su fabricación en cualquier lugar del mundo”, dice.

En las pruebas de laboratorio para evaluar el funcionamiento del sensor, los investigadores utilizaron hipoclorito de sodio como prueba de concepto. Esta sustan-

cia, conocida popularmente como cloro, se utiliza como desinfectante en el agua de las piscinas. En concentraciones elevadas, puede ser perjudicial para la salud. El nivel máximo de cloro libre permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las piscinas es de 3 a 5 partes por millón (ppm). En el estudio realizado en el Instituto de Química, según el artículo publicado en *Sensors & Diagnostics*, se pudieron detectar hasta 0,50 ppm de hipoclorito de sodio en el agua.

Para identificar otras especies químicas en muestras de agua habría que adaptar la plataforma; el término especie química se refiere a las diversas formas en que se encuentran las sustancias químicas en la naturaleza, tales como átomos, moléculas o iones. “Hemos proyectado sensores para medir metales tóxicos, pesticidas y fármacos, así como otras especies de interés ambiental, como nitritos y nitratos”, dice el investigador de la USP. Habría que diseñar un sensor específico para cada sustancia, pero existe la posibilidad de ensamblar una secuencia de sensores para detectar simultáneamente varias sustancias.

Por el momento, solamente se ha creado el sensor, pero los investigadores de la USP afirman que están en condiciones de proyectar el sistema completo, que in-

cluye el dispositivo que lee los datos, por ahora sin estimación de costos. También es posible utilizar un modelo de lector portátil disponible en el mercado, algo similar a lo que se hace actualmente con las tiras para medir los niveles de glucosa en sangre, que se insertan en unos instrumentos llamados glucómetros.

El paso siguiente de la investigación consiste en el diseño de un plan piloto para probar el sensor a gran escala en los domicilios, labor a cargo de usuarios no entrenados. El ensayo con la población ayudará a perfeccionar el dispositivo. En una fase posterior, el grupo pretende encontrar a una empresa interesada en producir comercialmente el sensor.

“Ya existen conversaciones en curso”, revela Longo Cesar da Paixão, puntualizando que la búsqueda de sensores de cartulina o de conjuntos de estos dispositivos para comprobar la calidad del agua en tiempo real no es algo exclusivo de Brasil. Las *startups* LAIIER, en Londres (Inglaterra), iFlux, en Niel (Bélgica), y OmniVis, en San Francisco (EE. UU), según informa el investigador, también están trabajando en el diseño de dispositivos de este tipo. ■

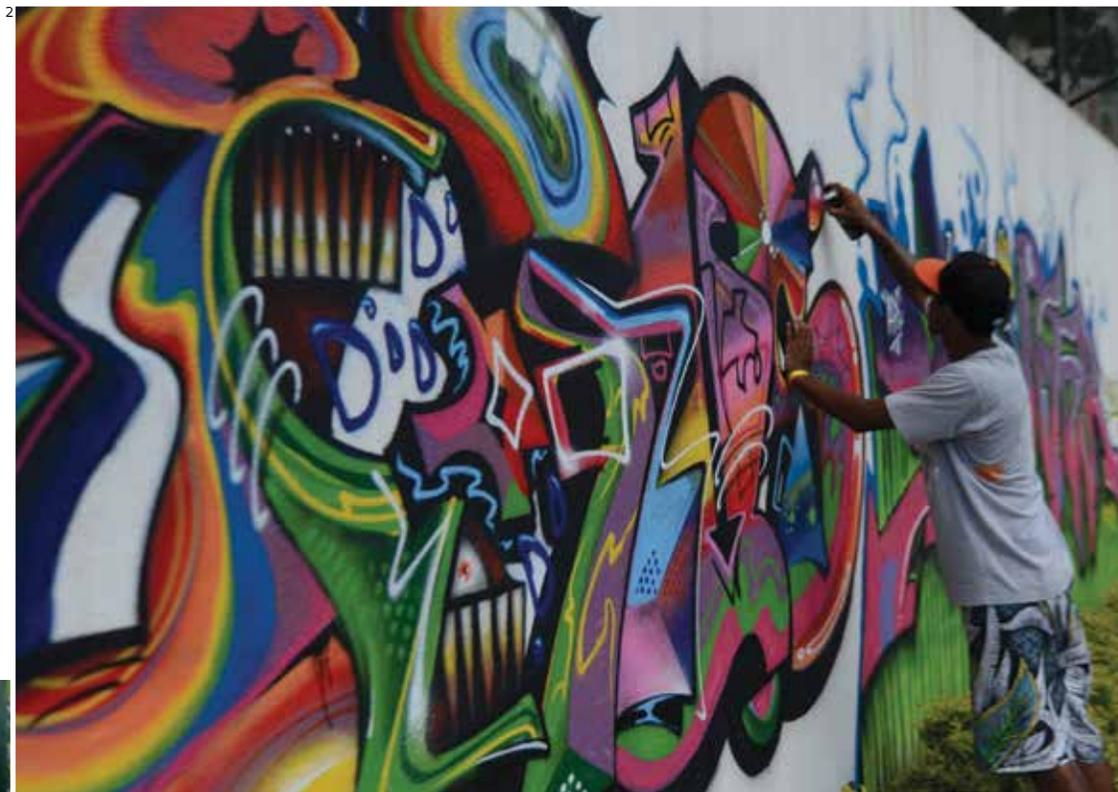
El proyecto y el artículo científico consultados para la elaboración de este reportaje figuran en la versión online de la revista.

# DE LAS MARGENES A LAS UNIVERSIDADES

El movimiento hiphop llega a sus 50 años y motiva investigaciones en Brasil en áreas tales como la antropología y la educación

Christina Queiroz





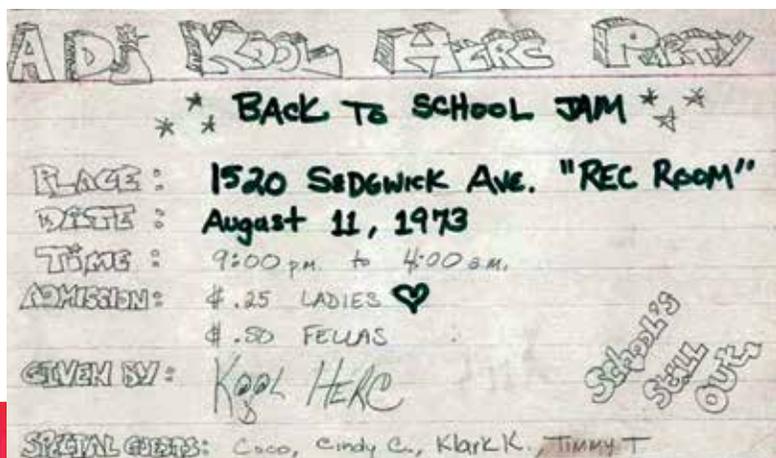
La página web de la Universidad Harvard recopila películas, fotografías, volantes, referencias y otros artículos sobre el movimiento



Bailarín de breaking (al lado) y grafiti (arriba) en São Paulo: junto con el rap, estas expresiones artísticas forman parte de la cultura del hip-hop

**E**n un capítulo del podcast *Mano a mano* grabado en junio, Mano Brown y Thaíde charlan sobre los cambios que se observan en Pedreira, un barrio del extremo sur de la ciudad de São Paulo frecuentado por ambos raperos. “Esta era una barriada sumamente pobre. Por supuesto que la mirada aguzada de un sociólogo detectará allí mil defectos, porque estamos hablando de una favela. Pero nosotros sabemos cómo sus habitantes han luchado y prosperado”, comenta Brown, el presentador del programa. La mención que hace el cantante y compositor del grupo paulista de rap Racionais MC’s, de las diferentes miradas sobre las periferias urbanas, es ilustrativa de un proceso que se ha ido fortaleciendo en las últimas dos décadas en Brasil y que atañe a la apropiación del hip-hop –el movimiento social, político y cultural que surgió en Estados Unidos en la década de 1970– como objeto de estudios en las universidades brasileñas. Anteriormente marginadas del contexto académico del país, actualmente, cuando el movimiento está cumpliendo 50 años en el mundo, estas expresiones empiezan a ser vistas como una “explicación sociohistórica del funcionamiento de Brasil”, dice el antropólogo Waldemir Rosa, de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana (Unila).

El hip-hop nació en Nueva York, en zonas signadas por la pobreza, la violencia, la ausencia de infraestructura y el narcotráfico, donde vivía gran parte de la población negra y latina de la ciudad. Una fiesta celebrada en agosto de 1973 en el barrio del Bronx, musicalizada por el DJ de origen jamaiquino Kool Herc, es considerada como el hito fundacional del movimiento. Herc fue el creador del sonido bautizado *break*, quiebre, que consistía en introducir sonoridades o cambios de ritmo en canciones utilizando un equipo mezclador de discos. En ese mismo evento, los participantes empezaron a improvisar rimas con base en esas canciones, creando lo que se conoce como rap, acrónimo en inglés que sintetiza las palabras *rhythm and poetry* (ritmo y poesía). Además de la música, el hip-hop engloba las expresiones artísticas que se conocen como el grafiti, y el *breaking*, un estilo de danza urbana creado por bailarines a partir del *break*, entre otras.



Invitación a la fiesta que hace 50 años marcó el hito fundacional del movimiento hiphop, y el DJ Kool Herc en Nueva York, en 1979

La colección Afro Cebrap reúne material donado por coleccionistas, artistas y militantes del movimiento negro



Según la socióloga Daniela Vieira dos Santos, de la Universidad Estadual de Londrina (UEL), el hiphop surgió en Brasil en la década de 1980 a partir del *breaking*, asociado a la difusión de películas estadounidenses de ficción sobre este estilo de baile, entre ellas *Wild style* (1972), de Charlie Ahearn, y *Beat street* (1984), de Stan Lathan. En aquella época, en la capital paulista, los miembros del movimiento, llamados *hip hoppers*, bailaban en fiestas conocidas como bailes *black*. A finales de aquella década, esos eventos también comenzaron a realizarse en la estación del metro de São Bento y en la calle 24 de Maio, en el centro de la ciudad, que se convirtieron en puntos de encuentro de los integrantes del movimiento. “La primera expresión artística incorporada por los jóvenes participantes de los bailes *black* fue el estilo de danza urbana *breaking*, a continuación, el rap. De manera similar a los que ocurría en Estados Unidos, en Brasil la gente participaba en esta producción cultural como una forma de escapar del contexto de violencia y precarización de las periferias”, recuerda Rosa, de la Unila.

Entre las diferentes expresiones artísticas que engloba el hiphop, el rap ha sido la que más se ha destacado en todas estas décadas, debido a la mayor facilidad de circulación de la música, según la profesora de la UEL. Los primeros discos del género que se grabaron en Brasil fueron los compilados *Hip hop cultura de rua* (1988) y *Consciência black – Volume 1* (1988). Este último, editado por la compañía grabadora independiente Zimbabwe Records (São Paulo), incluía dos canciones del grupo Racionais, surgido ese mismo año y que

también estaba integrado por Ice Blue, Edi Rock y KL Jay: *Tempos difíceis* y *Pânico na zona sul*. La colección también incluía el lanzamiento de la canción *Nossos dias* de la cantante y compositora de rap Sharylaine. Según Vieira dos Santos, ella fue la primera mujer que grabó rap en Brasil. En aquel período, dice la profesora de la UEL, se crearon las primeras *posses* en la ciudad de São Paulo, grupos que actuaban para difundir los principios de la cultura hiphop en los barrios y también para formar políticamente a las juventudes periféricas, proponiendo medidas para superar las desigualdades. “El rap se consolidó como género musical a finales de la década de 1990, debido especialmente al éxito de Racionais, considerado el principal grupo de rap del país, cuando lanzó el álbum *Sobrevivendo no inferno* [1997]”, analiza la socióloga.

En lo que respecta a Estados Unidos, el investigador Gabriel Gutierrez, de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), comenta que los trabajos académicos sobre el hiphop florecieron en la década de 1980, asociados al campo de los estudios africanos, sobre todo la sociología de la cultura. “Esa fue una vertiente específica del rap, el rap afrocéntrico, con fuerte contenido político y que tiene al grupo Public Enemy como uno de sus principales referentes, que impulsó el acceso del hiphop a los circuitos académicos”, dice Gutierrez, quien estudia el movimiento desde hace aproximadamente una década. Según el estudioso, muchos de estos grupos de rap afrocéntrico estaban compuestos por individuos negros de clase media y universitarios de Nueva York. “Creaban canciones de protesta que podían desagradar a los políticos y a la policía, pero aun así, fueron asimiladas por la industria cultural. Estos artistas eran contratados por grandes discográficas e invitados a participar en programas de televisión, manteniéndose omnipresentes en los medios de comunicación”, dice

En Brasil, los primeros trabajos académicos sobre el hiphop se escribieron en la década de 1990. Uno de los estudios pioneros es la tesis doctoral intitulada “Invadiendo la escena urbana de los años 1999: *Funk* y hiphop”, defendida en la UFRJ por el historiador Micael Herschmann, actual supervisor de la investigación posdoctoral de Gutierrez en la misma institución. Según el musicólogo Walter Garcia, del Instituto de Estudios

Brasileños de la Universidad de São Paulo (IEB-USP), uno de los trabajos inaugurales es la tesis doctoral sobre el rap en la ciudad de São Paulo, defendida en 1998 en la Universidad de Campinas (Unicamp) por el antropólogo José Carlos Gomes da Silva, en la actualidad docente de la Universidad Federal de São Paulo (Unifesp). Otro ejemplo es la tesina de maestría de la pedagoga Elaine Nunes de Andrade sobre rap y educación, desarrollada en la Facultad de Educación (FE) de la USP y concluida en 1996. Garcia comenzó a estudiar el rap a partir de los discos *Raio X do Brasil* (1993) y *Sobrevivendo no inferno* (1997), de Racionais, tras haber leído dos números de la revista *Caros amigos*. El primero contenía un artículo sobre Mano Brown y el segundo era una edición especial dedicada al hip-hop, basada en la tesina de grado del antropólogo Spency Kmitta Pimentel, actual profesor de la Universidad Federal del Sur de Bahía (UFSB). “Mi intención era y sigue siendo elaborar una crítica de la estética de Racionais en el marco de un estudio más amplio, el de la canción popular comercial en Brasil”, dice Garcia. *Holocausto urbano* (1990) es el primer álbum en solitario del grupo, cuya discografía incluye ocho títulos y dos recopilaciones. Según el musicólogo, pese a las diferencias que presentan sus discos, “el valor artístico de Racionais se erige a partir de la amalgama entre la técnica de factura de cada obra y el tema cantado”. Para Garcia, la técnica

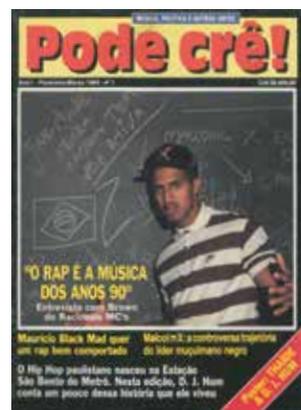
de composición incluye varios elementos de la labor artística: la selección de palabras, rimas, figuras de lenguaje, literalidad, recursos narrativos, construcción e interpretación de personajes, *flow*, *samples*, acompañamiento musical y balance.

**E**l sociólogo Richard Santos, de la UFSB, señala que, siguiendo el ejemplo de lo que ocurrió en Estados Unidos, los canales de televisión brasileños empezaron a transmitir programas sobre el hip-hop entre las décadas de 1980 y 1990, incitando el interés de los jóvenes por investigar sobre el tema. Santos, también conocido como Big Richard, trabajó como divulgador cultural del movimiento y de las culturas periféricas en Río de Janeiro y São Paulo, actuando además como director y presentador de programas de televisión en distintos canales de la televisión abierta. Actual prorector de Extensión y Cultura de la UFSB, dirigió el proceso de otorgamiento del título de doctor *honoris causa* a Mano Brown a principios del mes de noviembre.

Con todo, según Rosa, de la Unila, la temática del hip-hop cobró fuerza tras la promulgación de la Ley n° 10.639/2003, que estableció la obligatoriedad de la enseñanza de la historia y la cultura africana y afrobrasileña en las escuelas. Con el

estímulo que supuso la creación de acciones afirmativas en las universidades brasileñas, que propiciaron el acceso de la población negra y periférica al ambiente de producción del conocimiento, las primeras investigaciones de la década de 2000 apuntaban a analizar los vínculos entre el hip-hop y la identidad racial en campos tales como la sociología, la historia y la literatura. En una segunda etapa, prosigue Rosa, el hip-hop pasó a ser estudiado por investigadores del campo de la antropología urbana, enfocándose principalmente en las identidades juveniles y racializadas, como es su caso. Así, en su maestría, culminada en 2006 en la Universidad de Brasilia (UnB), indagó en el proceso de construcción de las masculinidades heterosexuales, jóvenes y negras en las letras de rap de los grupos de las periferias de São Paulo, Río de Janeiro, el Distrito Federal y Goiás, entre otros lugares. En tanto, en su doctorado, defendido en la UFRJ en 2014, el antropólogo analizó los vínculos entre el hip-hop y el poder público. “Pude percatarme de que, en el transcurso de la década de 2000, las organizaciones y asociaciones se profesio-

Mano Brown en 1993, en la portada de la primera revista brasileña especializada en hip-hop



Thaíde y DJ Hum haciendo su presentación en el marco de un festival en São Paulo, en 1999. Al lado, la rapera Sharylaine, una artista pionera de la escena nacional, en un retrato de 2023



nalizaron, inscribiéndose en el Registro Nacional de Personería Jurídica [CNPJ, por sus siglas en portugués] para acceder a líneas de financiamiento públicas de fomento de las actividades culturales y comunitarias”, dice Rosa. Después de 2010, según él, continuando con el proceso de entrada del movimiento al ambiente académico, el hiphop empezó a experimentar un giro epistemológico y se lo comenzó a entender como una posibilidad para explicar el funcionamiento y la historia de la sociedad brasileña.

La irrupción del hiphop como objeto de estudios en el mundo académico sinto-

niza con un proceso cada vez más intenso de institucionalización del movimiento. Para hacerse una idea, el *breaking* será una modalidad olímpica a partir de los Juegos Olímpicos de París de 2024. En Brasil, parte de esta tendencia es visible en la promulgación de decretos de los estados y municipales para reconocerlo como patrimonio cultural, en el desarrollo de líneas de financiación pública y en la creación de museos y centros culturales. El Ministerio de Cultura (MinC) lanzó en octubre un llamado a concurso para reconocer y valorar la cultura hiphop, que contempla inversiones por 6 millones de reales. En el mes de julio, el movimiento fue declarado patrimonio cultural intangible del Distrito Federal, a través de la Ley n° 7.274, y la ciudad de Campinas (São Paulo) se apresta a publicar un decreto similar. La gobernación del estado de Rio Grande do Sul tiene previsto inaugurar en diciembre el Museo de la Cultura Hiphop, en Porto Alegre. El espacio estará ubicado en un predio de 4.000 metros cuadrados donde antes funcionaba un establecimiento educativo. La iniciativa, un proyecto del rapero Rafael Rafuagi, ha reunido una colección de alrededor de 10.000 piezas, entre las que se cuentan instrumentos musicales, tocadiscos, folletos y otros documentos, mediante una investigación y recolección de materiales que se llevó a cabo en diferentes regiones del estado. “Además, acabamos de presentar ante el Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional

[Iphan] un inventario participativo de la cultura del hiphop existente en cada estado del país, solicitando su incorporación a los registros patrimoniales”, comenta Rafuagi. Se trata de una iniciativa que apunta a fomentar el desarrollo de expresiones artísticas e históricas a través de la puesta en valor y revitalización de determinadas culturas.

“El hiphop ha logrado legitimarse en la sociedad incluso habiendo estado sujeto históricamente a situaciones de prejuicio”, dice la antropóloga Jacqueline Lima Santos, de la Unicamp, una de las organizadoras del Festival Internacional Hip Hop 50 realizado por la institución en noviembre, para celebrar el cincuentenario del movimiento en todo el mundo. Junto con Vieira dos Santos, de la UEL, Lima Santos coordina un sello editorial en la editorial Perspectiva, centrado en publicaciones referidas al hiphop. En 2021 tradujeron el libro intitulado *Barulho de preto: Rap e cultura negra nos Estados Unidos [Black Noise: Rap Music and Black Culture in Contemporary America]*, de la socióloga estadounidense Tricia Rose, publicado originalmente en 1994, como resultado de los estudios pioneros elaborados sobre el tema en ese país. En 2023, editaron la recopilación *Racionais MC's – Entre o gatilho e a tempestade*, que reúne los estudios y las reflexiones académicas de los últimos años en Brasil sobre este grupo de rap. “Mediante estas publicaciones, actividades en universidades y diálogos con artistas del movimiento, pretende-



La Casa Sueli Carneiro pone a disposición documentos sobre la historia del hiphop



Arriba, Mano Brown recibiendo el título de doctor *honoris causa* y, al lado, un grafiti del dúo paulistano OSGEMEOS



mos ampliar el campo de estudios sobre el hip-hop en el país”, dice Lima Santos. Por su parte, Vieira Santos, de la UEL, sostiene que los estudios deben profundizar en asuntos como el protagonismo femenino. “Desde un principio, el hip-hop contó con la presencia de mujeres artistas. Sin embargo, solían quedar al margen de las actividades y muchas de ellas fueron invisibilizadas”, subraya la investigadora.

El licenciado en letras y pedagogía Arthur Dantas Rocha, autor del libro *Racionais MC's – Sobrevivendo no inferno* (editorial Cobogó, 2021), indaga en la recepción que la prensa y los sectores culturales le brindaron al grupo paulistano entre el lanzamiento de los discos *Raio X do Brasil* y *Sobrevivendo no inferno*. “En aquella época, las obras ya eran conocidas y celebradas en las periferias, pero había una desconfianza generalizada en lo que se refiere al rap, por entonces, un género musical infravalorado”, relata Dantas Rocha. “Muchos incluso adoptaban un discurso racista y afirmaban erróneamente que los integrantes de Racionais eran exconvictos”. Por otro lado, dice, artistas como Caetano Veloso y Chico Buarque ensalzaban el valor de los trabajos del grupo, a contramano de gran parte de la prensa.

Esa mirada empezó a cambiar en el primer decenio de este siglo, en función de diversos factores. Uno de ellos ocurrió cuando el rap comenzó a experimentar un proceso de profesionalización, luego de que raperos como Emicida fundaran productoras dedicadas a gestionar sus carreras artísticas. En una investigación posdoctoral financiada por la FAPESP y concluida en 2019 en la Unicamp, Vieira dos Santos, de la UEL, identificó que, a partir de este proceso de profesionalización, el género musical pasó a ocupar un nuevo lugar social y simbólico en la sociedad, constituyendo lo que denominó “la nueva condición del rap”. En su investigación de maestría, concluida en 2019 en la Escuela de Artes, Ciencias y Humanidades (EACH) de la USP, el sociólogo Felipe Oliveira Campos arribó a una conclusión similar. “En la década de 1990, los espectáculos de rap se caracterizaban por su precariedad y a menudo se realizaban con varias horas de retraso. Las productoras ayudaron a modificar ese escenario”, añade Oliveira Campos. El documental *Racionais: Das ruas de São Paulo pro mundo*, dirigido por Juliana Vicente y

lanzado en 2022, aborda ese proceso. En su maestría, Oliveira Campos investigó la Batalha da Matriz de São Bernardo do Campo (São Paulo). Dicho evento, creado en 2013, tiene lugar cada semana frente a la iglesia central de la ciudad, un lugar conocido por ser el punto de reunión de manifestaciones obreras durante la época de la dictadura militar (1964-1985). La referida Batalla llega a convocar en cada edición más de mil personas, muchas de ellas jóvenes de los municipios del Área Metropolitana de São Paulo, que disputan batallas de rimas y componen canciones de rap improvisadas.

**H**oy en día, según Gutierrez, de la UFRJ, el mercado musical del rap es complejo y multifacético, y abarca desde canciones politizadas hasta románticas. “Aun con estas diferencias, un elemento común de la poética de estas canciones consiste en elaborar crónicas de la vida en la calle y en los barrios donde viven o nacieron los artistas”, comenta el investigador, quien en su pasantía posdoctoral investiga el mercado del rap en Brasil, y particularmente en Río de Janeiro. En el estado fluminense, el llamado *miami bass*, una vertiente del rap procedente de Florida (EE. UU.), ejerció influencia sobre los primeros raperos. “Este estilo musical es muyailable y contiene elementos latinos. Llegó a los suburbios de Río y a la zona de Baixada Fluminense en los años 1970 y se fusionó con el samba enredo, el *candomblé* y la *umbanda*, dando origen más tarde al *funk carioca* y también a los primeros momentos de la escena del hip-hop”, explica.

En Brasil, diversos investigadores han trabajado con el hip-hop como herramienta pedagógica en las escuelas, como es el caso de la psicóloga Mônica Guimarães Teixeira do Amaral, de la Facultad de Educación de la USP. En una investigación financiada por la FAPESP y finalizada en 2018, verificó el incumplimiento de las leyes n° 10.639/03 y 11.645/08, que obligan a la enseñanza de la historia y la cultura afrobrasileña e indígena en las escuelas, en gran parte de los establecimientos educativos de São Paulo. En su estudio, Guimarães Teixeira do Amaral desarrolló metodo-

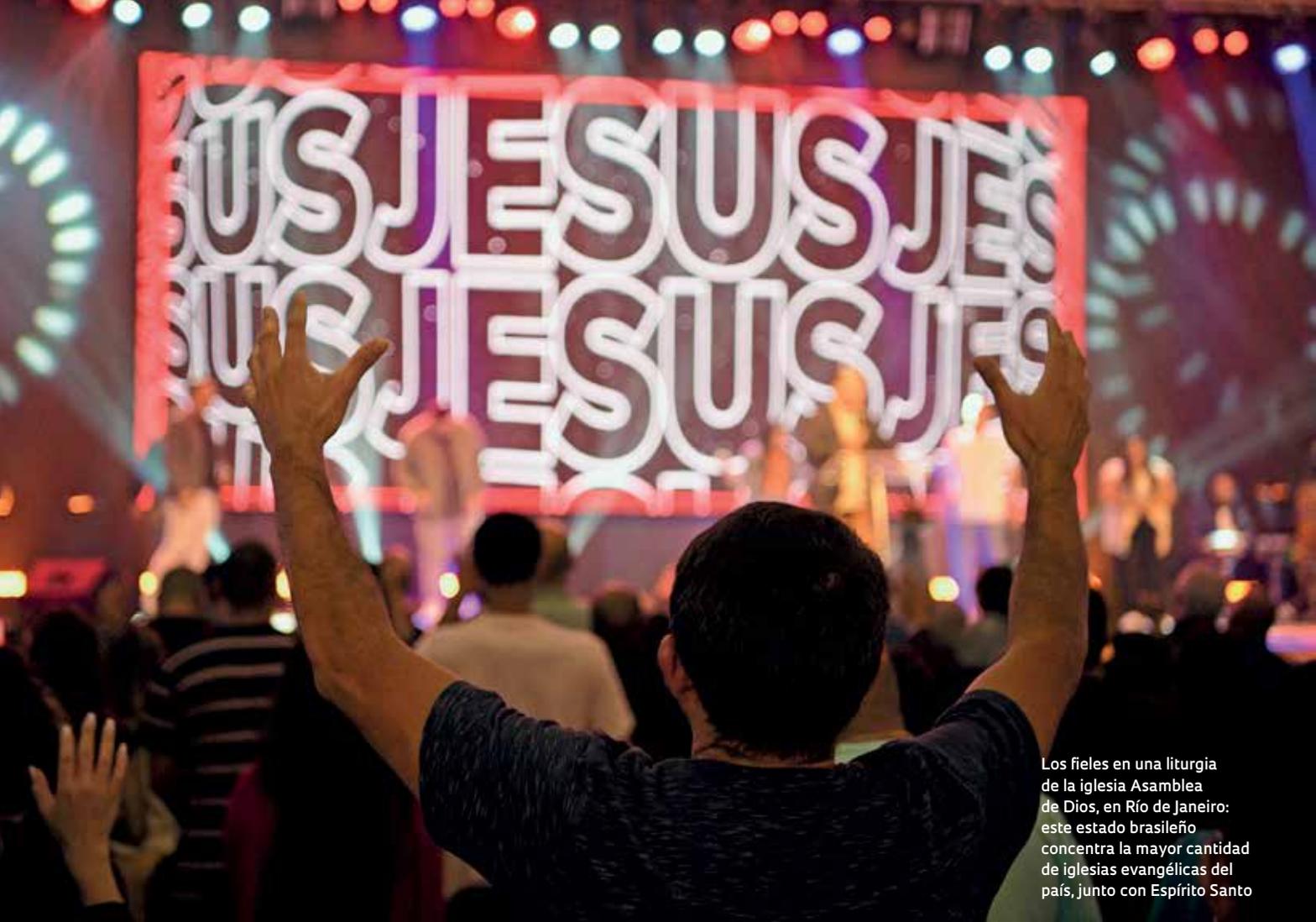


Cantando en la Batalha da Matriz, en São Bernardo do Campo (São Paulo)

logías y estrategias tendientes a garantizar la incorporación de estas leyes en las instituciones educativas. Al impulsar el intercambio entre la cultura escolar, las expresiones del hip-hop y la docencia compartida entre artistas y profesores, la investigadora propone actividades para trabajar con contenidos de la historia de África, así como de las culturas afrobrasileñas y urbanas en los programas de la enseñanza fundamental.

El rapero Daniel Garnet, graduado en educación física y doctorando en la FE-USP, también trabaja en una propuesta similar. En sus investigaciones académicas, diseñó metodologías para utilizar las batallas de rimas, también conocidas como duelos de MC, en los procesos pedagógicos. De este modo, en talleres impartidos en la USP, en escuelas públicas y en la Fundación Casa [para menores infractores], utiliza este género musical para abordar la métrica del verso en la poesía, las rimas y las figuras de lenguaje, como así también impartir clases sobre la historia de África y de Brasil. “Los duelos de raperos y el *breaking* ocupan un lugar especial en la mente de los jóvenes, a quienes les gustan los retos y poner a prueba sus límites. Además, constituyen una combinación entre el universo de las artes y la educación que ayuda a despertar el interés de los estudiantes por las diferentes asignaturas escolares”, concluye Garnet. ■

Los proyectos, artículos científicos y libros consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.



Los fieles en una liturgia de la iglesia Asamblea de Dios, en Río de Janeiro: este estado brasileño concentra la mayor cantidad de iglesias evangélicas del país, junto con Espírito Santo

CIENCIA POLÍTICA

# EL FISCO Y LA

# FE

## Datos del organismo federal de recaudación tributaria de Brasil ayudan a trazar el mapa de un siglo de expansión de las iglesias evangélicas

Diego Viana

La principal fuente de información sobre la filiación religiosa de la población brasileña es el Censo Demográfico, que lleva a cabo cada diez años el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). Para los sociólogos y otros estudiosos de las religiones, este período es demasiado extenso. A partir de la década de 1960, la población evangélica de Brasil ha venido creciendo a un ritmo vertiginoso, por lo que los datos del Censo pronto quedan desactualizados.

“Se habla mucho del aumento de la población evangélica en el país, pero no sabemos a ciencia cierta cómo está ocurriendo ni dónde empezó este crecimiento, por ejemplo”, dice el politólogo brasileño Víctor Araújo, de la Universidad de Reading, en el Reino Unido. “El Censo proporciona una imagen instantánea y no disponemos de datos dinámicos sobre lo que ocurre entre una y otra edición del sondeo del IBGE”.

Así como en la década de 1960 más del 90 % de los brasileños declaraban ser católicos, para 2040 el evangelicalismo, en sus diversas confesiones, será el mayor grupo religioso del país. El fenómeno que está viviendo Brasil se conoce como “transición religiosa”. En algunas partes de Europa esto ocurrió durante un largo período de tiempo en el marco de las guerras religiosas de los siglos XVI y XVII, pero aquí, según Araújo, el proceso podría ser más breve y llevar menos de cien años.

Para verificar cómo se distribuyen las iglesias evangélicas en el territorio nacional, Araújo recurrió a otra fuente de información: utilizó datos de la Receita Federal –el organismo federal de recaudación tributaria– a disposición en internet. Como el país cuenta con más de 152.000 establecimientos religiosos registrados, el politólogo desarrolló un algoritmo en el lenguaje de programación R, de código abierto, al que pueden acceder investigadores y otras personas interesadas en el tema.

Este método permitió identificar y clasificar los templos registrados por el fisco según las categorías que se emplean en los censos del IBGE. Ellas son: las iglesias misioneras más antiguas, tales como la Bautista, la Presbiteriana y la Metodista; las pentecostales, cuya doctrina contiene elementos ausentes en las misioneras, como la fe en los milagros, que incluyen a la Asamblea de Dios, la Congregación Cristiana en Brasil y Dios es Amor, y las neopentecostales, un fenómeno surgido a finales de la década de 1970 en Brasil que enfatiza en la teología de la prosperidad e incluye iglesias tales como la Universal del Reino de Dios, la comunidad evangélica Sana Nuestra Tierra [*Sara Nossa Terra*] y Renacer en Cristo. También existen iglesias de “clasificación indeterminada”.

Los resultados fueron publicados en la nota técnica intitulada “Surgimiento, trayectoria y expansión de las iglesias evangélicas en el territorio brasileño a lo largo del último siglo (1920-2019)”, difundida recientemente por el Centro de Estudios de la Metrópolis (CEM), de la Universidad de São Paulo (USP), al que Araújo está asociado en Brasil. El CEM es uno de los Centros de Investigación, Innovación y Difusión (Cepid) financiados por la FAPESP. “Esta investigación nos proporciona un dato adicional a los investigadores de este campo, porque el Censo Demográfico del IBGE no dice nada sobre la creación de templos”, dice el sociólogo Ricardo Mariano, de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias Humanas de la Universidad de São Paulo (FFLCH-USP).

Gracias a ese recurso digital, el investigador pudo elaborar una cronología de la transición religiosa en el país entre 1920 y 2019. Araújo señala que la legislación sobre iglesias ha sido modificada varias veces, pero el registro más antiguo aún activo en la Receita Federal data de 1922. Se trata de una iglesia de confesión bautista situada en Nova Iguaçu (Río de Janeiro). Tal como consta

en la nota técnica, esto no significa que esa sea la primera iglesia evangélica inaugurada en Brasil. Los registros históricos hablan, por ejemplo, de la existencia de una congregación de la Asamblea de Dios fundada en 1911 en Belém (Pará).

**E**n el país, las organizaciones religiosas están obligadas a estar inscritas en el Registro Nacional de Personaería Jurídica (CNPJ, por sus siglas en portugués) desde 2002, como lo estipula el artículo 44 del Código Civil. La exigencia también está prevista en la Ley nº 10.825/2003. “La legislación establece que las iglesias son personas jurídicas de derecho privado. Por lo tanto, deben estar registradas en el fisco y, consecuentemente, en el CNPJ para, por ejemplo, poder abrir una cuenta bancaria y contratar empleados”, informa Armando Rovai, presidente de la Comisión Especial de Derecho Empresarial del Colegio de Abogados de Brasil, sección São Paulo (OAB-SP, por sus siglas en portugués). El CNPJ fue creado en 1998. Anteriormente existía el Registro General de Contribuyentes (CGC), instituido en 1964.

A juicio de Araújo, la transición religiosa es “uno de los fenómenos demográficos contemporáneos más importantes en Brasil”. El proceso se ha acelerado, sobre todo a partir de la década de 1960, acompañando la urbanización y la industrialización del país. “Cuando la gente se trasladó a las nuevas periferias de las ciudades, todavía no existían allí parroquias católicas. Los evangélicos fueron los primeros en llegar a estos lugares, por-

que podían abrir nuevos templos sin necesidad de recurrir al Vaticano, como era menester en el caso de los católicos”, relata el investigador, autor del libro intitulado *A religião distrai os pobres? O voto econômico de joelhos para a moral e os bons costumes* [¿La religión entretiene a los pobres? El voto económico de rodillas por la moral y las buenas costumbres] (Edições 70, 2022).

Al día de hoy, las regiones que más se han urbanizado son los mayores bastiones del evangelismo brasileño. Entre los estados que conforman la federación, Espírito Santo y Río de Janeiro concentran el mayor número de iglesias evangélicas: más de 80 templos por cada 100.000 habitantes, en ambos casos. En otras palabras, estos estados tienen una iglesia evangélica por cada 1.250 habitantes, según revela la investigación. En cambio, el nordeste brasileño sigue siendo mayoritariamente católico, aunque los evangélicos predominan en las áreas metropolitanas de las capitales.

Para el antropólogo Ronaldo de Almeida, coordinador del Laboratorio de Antropología de la Religión de la Universidad de Campinas (LAR-Unicamp), el mapeo de los templos realizado por Araújo corrobora algunos puntos que los estudios de la religión han intentado mostrar en estos últimos años. Uno de ellos es la aceleración del crecimiento del evangelismo en la década de 1980, cuando el Censo empezó a consignar con mayor precisión la presencia de esta población en el país.

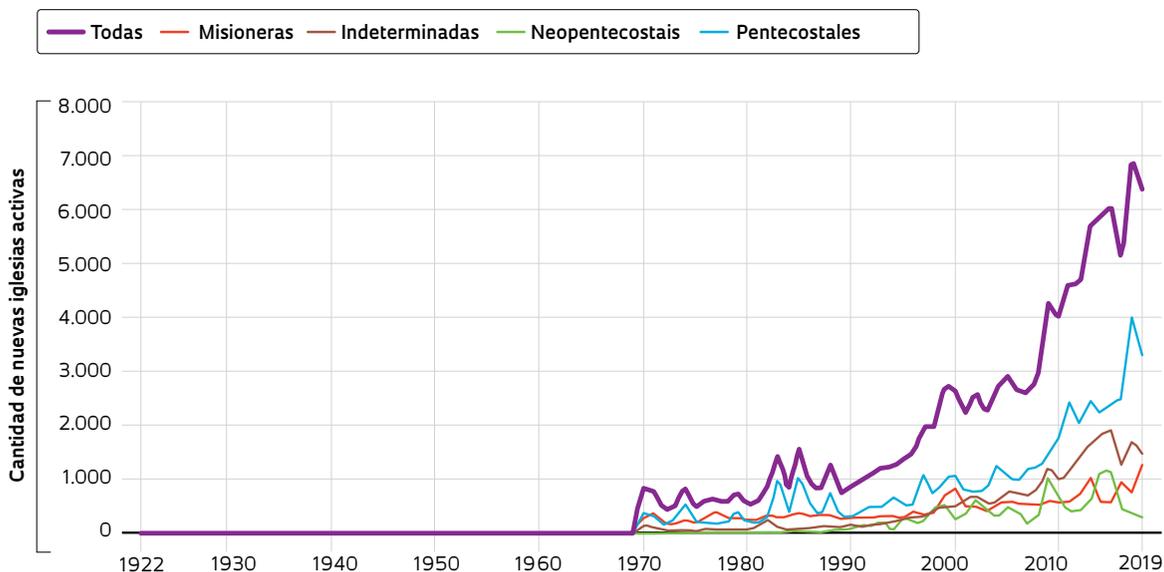
Otro aspecto es la expansión territorial de estas iglesias detectada en el Censo 2000. “El crecimiento del culto evangélico puede percibirse en las zonas de inmigración recientes”, añade



Arriba, el Templo de Salomón, de la Iglesia Universal del Reino de Dios, en el barrio de Brás, en São Paulo

## Avance de las iglesias evangélicas en Brasil

El pico de su crecimiento se produjo entre 2000 y 2016



FUENTE: “SURGIMIENTO, TRAYECTORIA Y EXPANSIÓN DE LAS IGLESIAS EVANGÉLICAS EN EL TERRITORIO BRASILEÑO A LO LARGO DEL ÚLTIMO SIGLO (1920-2019)” – CEM



Abajo, una pequeña congregación de Río de Janeiro: muchas de ellas no están registradas tributariamente



De Almeida, quien también es investigador del Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap). “El norte y el centro-oeste brasileños, las fronteras de la expansión agrícola en las últimas décadas, han recibido a muchos agricultores procedentes del sur del país, donde la presencia protestante tiene una tradición sólida”. Las primeras iglesias que se asentaron junto con los migrantes eran de orientación misionera. Sin embargo, en la última década, las iglesias pentecostales y neopentecostales han avanzado rápidamente.

Este es el caso de Rondônia. Según el estudio, en 1970 ocupaba el antepenúltimo lugar de la lista entre los estados con mayor cantidad de iglesias evangélicas. No obstante, a partir de 2000 pasó a situarse entre los cinco primeros. En 2019 poseía 60 templos por cada 100.000 habitantes y era uno de los estados brasileños más próximos a completar la transición religiosa, junto con Río de Janeiro, Mato Grosso do Sul y Espírito Santo.

El recuento de los templos no precisa con exactitud la cantidad de fieles de estas confesiones en Brasil. Al fin y al cabo, una capilla y una catedral tienen un único registro en el CNPJ, pero congregan a un público incalculable. “Como en cualquier estudio, existen limitaciones. Resulta difícil captar la expansión de los evangélicos en el país durante el último siglo, pero el registro de los templos es una variable complementaria que ayuda a escurrir lo que ha ocurrido en Brasil a lo largo de este período de tiempo”, dice De Almeida.

Asimismo, muchas iglesias funcionan en forma clandestina, sin estar registradas en el CNPJ: un pastor evangélico puede, por ejemplo, celebrar oficios religiosos en el *living* o en el garaje de su casa. “Muchas congregaciones pequeñas no se sienten en la obligación de formalizar un registro.

El subregistro es grande”, dice Mariano. Tampoco figuran en el estudio las iglesias que fueron abiertas en el período analizado, pero que por distintos motivos ya no figuraban activas en 2019. También es posible que individuos particulares registren un CNPJ de iglesias con fines no religiosos, pero estos casos no son identificables en los datos de Hacienda, tal como advierte Araújo.

De todos modos, los datos referentes a los años en que se realizó el Censo, como 2000 y 2010, aparecen alineados con las cifras dadas a conocer por el IBGE. “Para los años no censales, cuando no es posible efectuar la comparación, es probable que la clasificación también se ubique cerca de lo que sería si los datos se hubiesen recabado todos los años”, dice Araújo.

Según el politólogo, poner la herramienta a disposición de otros investigadores es uno de los objetivos de su estudio. “Cualquier persona con conocimientos intermedios de programación y una computadora con capacidad de procesamiento estándar puede reproducir los procedimientos”, dice Araújo. El investigador pretende actualizar la información del estudio a medida que haya nuevos datos disponibles en el sitio web del organismo recaudador federal, como así también comparar los resultados con las cifras que serán divulgadas por el Censo 2022. ■

El proyecto consultado para la elaboración de este artículo figura en la versión *online* de la revista.

An aerial photograph of a tropical landscape. A dirt road runs diagonally from the top left towards the center. To the left of the road is a dense, dark green forest. To the right is a cleared area with green fields and some rectangular structures. The overall scene is brightly lit, suggesting a sunny day.

ARQUEOLOGÍA

Muchas estructuras  
geométricas se  
encuentran ocultas  
bajo el dosel forestal  
y aparecen a  
medida que se va  
talando la selva

# HUELLAS HUMANAS EN LA AMAZONIA



## El uso de tecnología de punta permitió detectar geoglifos debajo de la selva y trabajos actuales realizados con indígenas sugieren la producción intencional de tierra negra desde los tiempos precolombinos

Letícia Naísa

Es difícil pensar en la selva amazónica y no imaginarse una vasta inmensidad verde. Sin embargo, alberga mucho más de lo que se ve desde el cielo. Grandes figuras geométricas ocultas por las copas de los árboles están siendo identificadas mediante el uso de tecnología óptica lidar (detección de luz y medición de distancia), tal como quedó demostrado en un artículo científico publicado en la revista *Science*. Nuevos indicios hallados en septiembre sugieren que la tierra negra amazónica o tierra negra indígena [por su denominación original en portugués *terra preta de índio*], por lo general también considerada obra de pueblos precolombinos, sería fruto de una labor intencional, y no de del azar, según un artículo publicado en la revista *Science Advances*.

Investigaciones realizadas en las últimas tres décadas indican que Brasil ya estaba ampliamente habitado, incluso en la región amazónica, antes de la llegada de los colonizadores portugueses en 1500. La escala de esta ocupación amazónica ahora crece, a la luz del relevamiento realizado con el dispositivo acoplado a un dron o a bordo de un vehículo aéreo, que emite miles de pulsos láser por segundo y, con cada uno de ellos, efectúa una medición de distancias. “Es casi como una radiografía”, explica el geógrafo Vinicius Peripato, estudiante doctoral en el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) y autor principal del estudio firmado por 230 investigadores.

En zonas ahora deforestadas del sector occidental de la Amazonia pueden observarse desde el cielo enormes figuras geométricas formadas por zanjas excavadas en el suelo: los geoglifos. Desde la década de 2000, con la herramienta Google Earth, son visibles mediante imágenes obtenidas vía satélite. “Se han podido identificar cientos de estas estructuras, principalmente en la Amazonia occidental”, comenta el biólogo Luiz Aragão, jefe de la División de Observación

de la Tierra y Geoinformática del Inpe, director de tesis de Peripato y coordinador del artículo publicado en la revista *Science*.

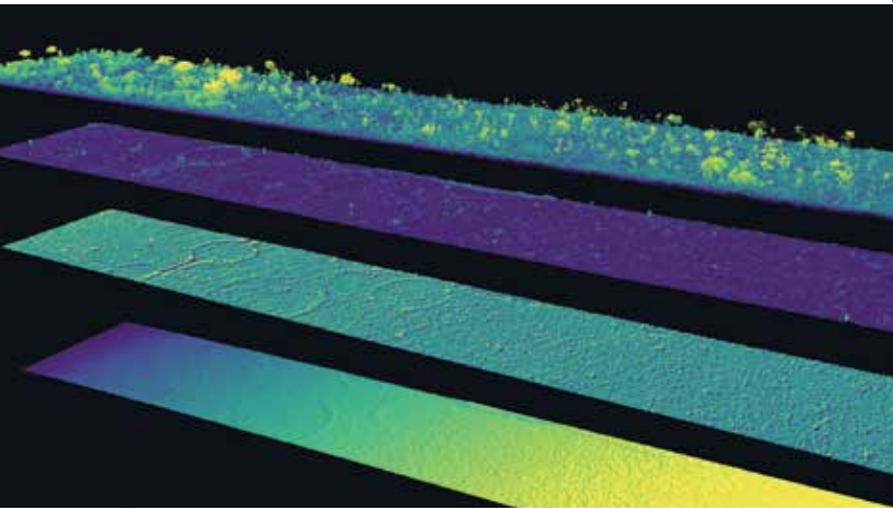
Excavaciones realizadas por arqueólogos en los últimos 20 años demostraron que las marcas geométricas fueron sitios de importancia religiosa (lea en *Pesquisa FAPESP, edición n° 186*). Peripato y sus colegas conocían la existencia de estos vestigios de ocupación humana y supusieron que podría haber más debajo del dosel de la selva. “Pruebas anteriores indicaron la posible existencia de estas estructuras, pero nada muy preciso”, explica.

Entonces desarrollaron un método virtual para eliminar la selva y mejorar la detección de las características del relieve: los datos de teledetección del sistema lidar no tenían aún una resolución acorde para realizar observaciones arqueológicas. El equipo escaneó 5.315 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) de la Amazonia, lo que equivale al 0,08 % de la selva. “Y funcionó, afortunadamente encontramos 24 estructuras hasta entonces desconocidas”, celebra Peripato.

Entusiasmado por estos hallazgos, el investigador ideó un modelo matemático para estimar cuántos serían y dónde estarían otros geoglifos similares en el territorio, teniendo en cuenta una serie de variables aún desconocidas. Para ello, cotejó los datos proporcionados por el sensor lidar con la información de otras 937 estructuras arqueológicas conocidas y, con este modelo, calculó que existirían al menos 10.272 estructuras precolombinas aún no descubiertas, que en toda la selva –un territorio de 6.700 km<sup>2</sup>– podrían llegar a ser hasta 23.648. La distribución de 53 especies de plantas domesticadas, utilizadas como alimento, fue catalogada en inventarios forestales previos y podría servir como indicio de la existencia de las estructuras arqueológicas en la inmensidad de la Amazonia.

“Fue una tarea que, para poder llevarse a cabo, requirió la conformación de un equipo mul-

La tecnología óptica Lídars permite divisar las capas debajo de la selva como si fuese una radiografía que revela sutiles variaciones del relieve, como los geoglifos



“Este es un artículo importante que confirma algo que los arqueólogos venían afirmando hace años: en el pasado había mucha gente viviendo en la Amazonia”, comenta el arqueólogo Eduardo Góes Neves, del Museo de Arqueología y Etnología de la Universidad de São Paulo (MAE-USP). “Esos pueblos vivían allí e incluso modificaban la selva”, sostiene. Los indicios de la presencia humana en la región datan de hace unos 12.000 años. Para algunos de los expertos, la Amazonia

“Este es un artículo importante que confirma algo que los arqueólogos venían afirmando hace años: en el pasado había mucha gente viviendo en la Amazonia”, comenta el arqueólogo Eduardo Góes Neves, del Museo de Arqueología y Etnología de la Universidad de São Paulo (MAE-USP). “Esos pueblos vivían allí e incluso modificaban la selva”, sostiene. Los indicios de la presencia humana en la región datan de hace unos 12.000 años. Para algunos de los expertos, la Amazonia

es un patrimonio biocultural sometido tanto a la influencia de la propia naturaleza como de las personas que han vivido y aún viven allí.

Góes Neves dice que gran parte de los geoglifos que aún se conservan se encuentran en tierras bajo protección ambiental, ocupadas por indígenas. “Son los indígenas quienes preservan las estructuras en medio del avance de las explotaciones agropecuarias y de la destrucción a la que está siendo sometida la Amazonia”, reflexiona. En su opinión, la presencia indígena es muy antigua y ha contribuido a la creación de los biomas existentes en el país. “Su legado histórico es inseparable de la propia historia de Brasil”.

La tierra negra presente en diversos puntos de la Amazonia constituye otro indicio de la actividad agrícola que se registra en torno a los geoglifos y que ha contribuido a la formación de los biomas. Compuesta por restos de alimentos como mandioca y pescado, cenizas y otros restos orgánicos de la selva, es rica en nutrientes, tales como fósforo, calcio, magnesio y nitrógeno, esenciales para el cultivo de alimentos.

“Cuando se comenzó a estudiar la tierra negra, fue una revolución en la arqueología amazónica: aportó evidencias de la existencia de poblaciones numerosas en este territorio, porque para que se forme ese material, es necesario que haya mucha gente viviendo durante un largo tiempo en un mismo lugar”, dice la arqueóloga británica Jennifer Watling, del Museo de Arqueología y Etnología de la Universidad de São Paulo (MAE-USP), coautora del artículo. Antes de estas investigaciones, el consenso general indicaba que la selva amazónica no podía cobijar una población muy densa debido a la falta de suelo fértil,

Con el uso del Lídars y el modelo matemático, los investigadores estiman que en la Amazonia hay entre 10.000 y 24.000 de estas estructuras



comenta. “La tierra negra amazónica demuestra que puede brindarse sustento a muchas personas sin necesidad de destruir la selva”.

El equipo recogió más de 3.600 muestras de suelo de cuatro yacimientos arqueológicos, dos aldeas históricas, una aldea moderna del Alto Xingú llamada Kuikuro II y algunas muestras del Alto Tapajós y de Serra dos Carajás. Los análisis revelaron que las muestras más antiguas tienen más de 5.000 años.

La datación de las tierras negras amazónicas es una de las principales controversias de los estudios recientes con este tipo de suelo. En 2021, un artículo publicado en la revista *Nature Communications* puso en entredicho el origen antrópico de las tierras negras. “A juzgar por un análisis elemental, la fecha no coincide con la presencia del ser humano en la Amazonia”, dice el ingeniero agrónomo y ambiental Rodrigo Studart Corrêa, experto en recuperación de suelos e investigador de la Universidad de Brasilia (UnB). Según el estudio que llevó a cabo Studart Corrêa, el cultivo de la tierra en la Amazonia se remonta a menos de 4.500 años atrás, aunque hay indicios arqueológicos que apuntan a prácticas de cultivo en la región hace 9.000 años.

Para el grupo del ingeniero agrónomo, la tierra negra que ellos estudiaron se habría originado a partir de sedimentos de la cordillera de los Andes. “Es material de origen fluvial depositado en los meandros de los ríos”, sostiene Studart Corrêa. Según sostiene, con base en el análisis de isótopos de estroncio y otros elementos químicos, parte de la composición de las muestras no procede de materia orgánica. “El gran misterio son los fragmentos de cerámica hallados en estas tierras, pero ello podría indicar que eran utilizadas para enterrar a los muertos, tal vez porque eran más fáciles de excavar”, especula.

**S**in embargo, Watling y el geógrafo y arqueólogo Morgan Schmidt, del Laboratorio de Estudios Interdisciplinarios en Arqueología de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) consideran que sus resultados refutan esta interpretación de una formación accidental de la tierra negra por las comunidades locales. Los investigadores realizaron entrevistas con los lugareños, observaron la vida cotidiana en las aldeas y vieron que ellos depositaban restos de pescado y mandioca en contenedores de residuos de hasta 60 centímetros de altura. “La mayor parte de la tierra negra se forma en las zonas de desecho, como si fuera un compostaje”, dice Watling. “Mezclan la materia orgánica con ceniza y carbón para formar un abono fértil y lo esparcen en las áreas de cultivo.”

Las tierras negras son ricas en carbono pirogénico, también llamado carbón vegetal o *biochar*,



procedente de la quema de materia orgánica y nutritivo para las plantas. El estudio publicado en *Sciences Advances* reveló concentraciones de carbono dos veces mayores en las zonas habitadas en comparación con las que estaban menos ocupadas. Esto se debe a que los indígenas emplean cenizas de sus hogueras domésticas para la producción de tierra negra, según Schmidt, quien desde hace más de dos décadas estudia las prácticas agrícolas de los pueblos amazónicos.

Otra ventaja de este tipo de suelo reside en que secuestra y almacena el carbono de la atmósfera. Las mediciones registraron unas 4.500 toneladas de este elemento en uno de los yacimientos arqueológicos, mientras que en las aldeas modernas hay 110 toneladas. Esto demuestra cómo ha perdurado y se ha ido acumulando el carbono a lo largo del tiempo. Pero el cambio climático es un aspecto preocupante: “El carbono puede descomponerse más rápido debido al calentamiento del suelo”, explica Schmidt. “También hemos notado que cuando se deforesta una zona de tierra negra y cultivo, el material orgánico del suelo se pierde y retorna a la atmósfera”, señala.

La crisis climática también puede llegar a afectar los hábitos de consumo de las poblaciones indígenas que, hoy en día, todavía producen tierra negra en sus territorios. “Esta tierra se crea merced a una forma de utilización y manejo del espacio doméstico muy particular, que incluye el desecho de restos de alimentos tradicionales como la mandioca”, dice Watling. “Si ellos dejan de plantar y consumir estos alimentos, no sabemos si la tierra negra seguirá formándose de la misma manera”. ■

Una mujer del pueblo Kuikuro deposita cenizas de una hoguera en la zona donde producen tierra negra

Los proyectos y artículos científicos consultados para la elaboración de este reportaje figuran en una lista en la versión *online* de la revista.

## *Por encima de la selva*

Este anillo de torres que se encuentra en la etapa final de su construcción servirá para liberar aire enriquecido en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sobre una pequeña área de la selva amazónica, situada a 80 kilómetros al norte de la ciudad de Manaus. Forma parte de un experimento del proyecto denominado AmazonFACE en una reserva del Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia (Inpa, Brasil), que a finales de 2024 será puesto en marcha junto con otros cinco anillos. Dicho experimento permitirá medir una amplia gama de respuestas fisiológicas de la selva ante las condiciones previstas en el marco del cambio climático. Dos grúas gigantes ubicadas junto a cada uno de los anillos facilitarán la investigación del dosel. “La vista de la selva desde arriba es una experiencia indescriptible: hace que a uno se le humedezcan los ojos”, comenta el ecólogo David Lapola, de la Universidad de Campinas (Unicamp).

*Imagen enviada por David Lapola, del Laboratorio de Ciencias del Sistema Terrestre de la Unicamp*





