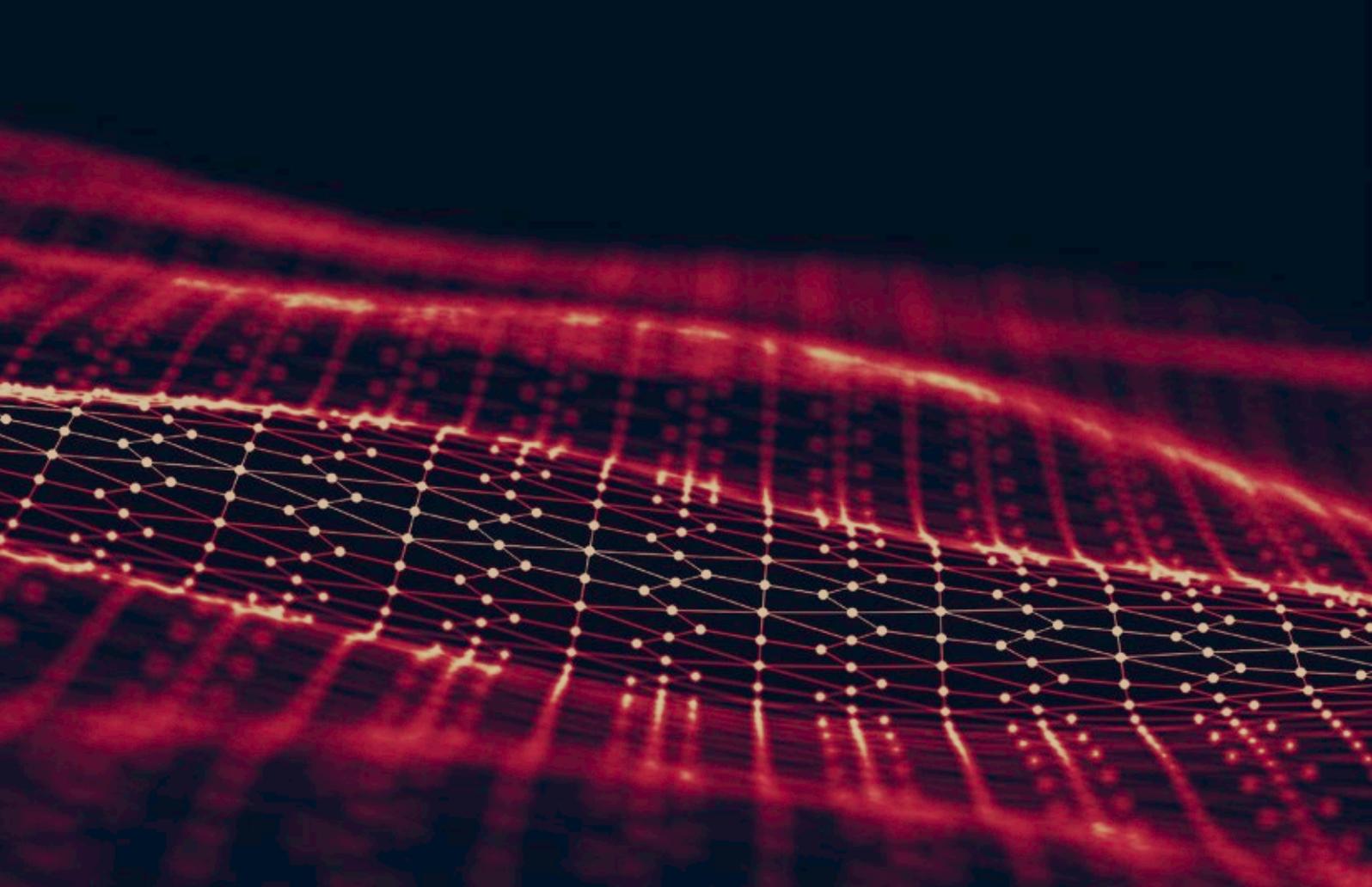


# 06

REVISTA

Nº6 Ene-Jun 2019  
ISSN 2358-9841

# PolitiKa



## Ciencia y Tecnología

BRASIL Y LA NUEVA ECONOMÍA DEL CONOCIMIENTO

proyecto nacional | innovación | políticas de C&T | ciencia en la agricultura | ciencia y defensa |  
producción aeronáutica | sistema eléctrico | desafíos estructurales | matriz energética | tecnología



HUMBOLDT-VIADRINA  
Governance Platform



Fundação  
João Mangabeira



REVISTA

# PolitiKa



Organización

**Fundação**  
João Mangabeira

Colaboración



**HUMBOLDT-VIADRINA**  
Governance Platform

## REVISTA POLITIKA

### CONSEJO EDITORIAL

Carlos Siqueira  
Ricardo Coutinho  
Alexandre Navarro  
Gesine Schwan  
Alexander Blankenagel  
César Benjamin  
Marcia H. G. Rollemberg  
Rafael Araripe Carneiro  
Adriano Sandri  
Paulo Bracarense  
Osvaldo Saldías  
Tania Bacelar de Araújo  
Raimundo Pereira

### DIRECTOR RESPONSABLE

Alexandre Navarro

### EDITOR

César Benjamin

### COORDINACIÓN EDITORIAL

Marcia H. G. Rollemberg

### PERIODISTA RESPONSABLE

Luciana Capiberibe

### TRADUCCIÓN Y REVISIÓN

María Teresa Sopeña Acosta y Cid de Queiroz

### PROYECTO GRÁFICO Y DIAGRAMACIÓN

Traço Design

### PORTADA

Dmitriy Razinkov / Shutterstock.com

## FUNDACIÓN JOÃO MANGABEIRA

### CONSEJO CURADOR

PRESIDENTE  
Carlos Siqueira

### MIEMBROS TITULARES

Adilson Gomes da Silva  
Álvaro Cabral  
Cristina Almeida  
Dalvino Franca  
Domingos Leonelli  
Francisco Cortez  
Gabriel Maia  
Jairon Nascimento  
James Lewis  
Joilson Cardoso  
Manoel Alexandre  
Paulo Bracarense  
Ricardo Coutinho  
Serafim Corrêa  
Silvânio Medeiros  
Vera Regina Müller

### MIEMBROS SUPLENTE

Felipe Martins  
Henrique Antão  
Israel Rocha

### CONSEJO FISCAL

### MIEMBROS TITULARES

Ana Lúcia de Faria Nogueira  
Carlos Magno Barbosa do Amaral Junior  
Gerson Bento da Silva Filho

### MIEMBROS SUPLENTE

Alessandro Antônio Stefanutto  
Paulo Sérgio Bomfim

### DIRECTORIA EJECUTIVA

DIRECTOR PRESIDENTE  
Ricardo Coutinho

### DIRECTOR VICE-PRESIDENTE

Alexandre Navarro

### DIRECTOR FINANCIERO

Renato Xavier Thiebaut

### DIRECTOR DE ESTUDIOS Y PESQUISAS

Carlos Amatha

### DIRECTOR DE ORGANIZACIÓN

Fabio Maia

### EQUIPO DE LA FJM

#### GERENTE EJECUTIVA

Márcia H. G. Rollemberg

#### COORDINACIÓN DE LA

ESCUELA JOÃO MANGABEIRA

Adriano Sandri

#### ASESORÍA DE COMUNICACIÓN

Luciana Capiberibe

#### ASISTENTES

Bruna Lacerda

Elsa Medeiros

Fernanda Regis Cavicchiolli

Filipe Gomes Franca

#### AUXILIARES

Daniela Ferreira dos Santos

Edson Martins dos Santos

Sebastião Antônio Correia

Copyright ©Fundación João Mangabeira 2019

CATALOGACIÓN EN PUBLICACIÓN (CIP)

F981 Revista Política = Periódico Politika [texto (recurso electrónico)]/ Fundación João Mangabeira. – Brasília: FJM Editor, 164p. : il. : color. – n. 6 (ene. 2019).

Bianual.

Publicacion on-line:

<[www.fjmangabeira.org.br/revistapolitika](http://www.fjmangabeira.org.br/revistapolitika)>

Organizador: César Benjamin.

ISSN: 2358-9841

1. Publicaciones – Periódicos 2. Política – Periódicos

3. Políticas públicas – Periódicos I. Periódico Politika

II. Benjamin, César.

CDD 32(05)

CDU: 320(051)

### Datos de catalogación:

Wilians Juvêncio da Silva CRB 1/3140 – 1ª Região. DOX.

### Publicación electrónica:

<http://www.fjmangabeira.org.br/revistapolitika>

### FUNDAÇÃO JOÃO MANGABEIRA

Sede própria – SHIS QI 5 – Conjunto 2 casa 2

CEP 71615-020 - Lago Sul - Brasília, DF

Telefax: (61) 3365-4099/3365-5277/3365-5279

[www.fjmangabeira.org.br](http://www.fjmangabeira.org.br) | [www.facebook.com/FjoaoMangabeira](https://www.facebook.com/FjoaoMangabeira)

[twitter.com/fj\\_mangabeira](https://twitter.com/fj_mangabeira) | [www.instagram.com/fjmangabeira](https://www.instagram.com/fjmangabeira)

[www.tvjoaoMangabeira.org.br](http://www.tvjoaoMangabeira.org.br) | [www.observatoriodademocracia.org.br](http://www.observatoriodademocracia.org.br)

### HUMBOLDT-VIADRINA GOVERNANCE PLATFORM

Pariser Platz 6, Im Allianz Forum

10117 Berlin - Germany

Tel. +49 30 2005 971 10

[office.schwan@humboldt-viadrina.org](mailto:office.schwan@humboldt-viadrina.org)

### ACCESE:

<http://fjmangabeira.org.br/revistapolitika>



En su *smartphone* o *tablet* baje aplicativos gratuitos para lectura de la Revista

# sumario

4

editorial

POR UNA REVOLUCIÓN  
CIVILIZADORA EN BRASIL

**Carlos Siqueira**

6

introducción

DESAFÍOS DE LA CIENCIA  
EN BRASIL

**Ricardo Coutinho**

10

proyecto nacional

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN BRASIL:  
DESAFÍOS AL PROYECTO NACIONAL

**Aldo Rebelo**  
**Luis Antônio Paulino**

20

innovación

DESAFÍOS DE LA  
INNOVACIÓN  
EN BRASIL

**João Alberto De Negri**  
**Eric Jardim Cavalcanti**

38

políticas  
de C&T

AVANCES DE LAS  
ÚLTIMAS DÉCADAS Y  
DESAFÍOS PARA EL  
FUTURO

**Sergio Machado  
Rezende**

56

ciencia en la  
agricultura

EL PAPEL DE LA EMBRAPA  
EN EL DESARROLLO Y EN LA  
SUSTENTABILIDAD DE LA  
AGRICULTURA BRASILEÑA

**Antonio Flavio Dias Avila**

70

ciencia y  
defensa

LA CONTRIBUCIÓN  
DE LA MARINA DE BRASIL

**Carlos Alberto Aragão  
de Carvalho Filho**  
**Guilherme da Silva  
Sineiro**

82

producción  
aeronáutica

EL CLUSTER AERONÁUTICO BRASILEÑO:  
LAS CONTRIBUCIONES PARA EL SISTEMA DE  
INNOVACIÓN DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

**Thiago Calliari**  
**José Henrique de Souza  
Damiani**

98

sistema  
eléctrico

COOPERACIÓN Y  
COMPETENCIA EN EL  
SINGULAR SISTEMA  
ELÉCTRICO BRASILEÑO

**Roberto Pereira  
D'Araújo**

122

desafíos  
estructurales

CIENCIA, TECNOLOGÍA E  
INNOVACIÓN: POLÍTICAS  
BRASILEÑAS EN EL SIGLO XXI

**José Cassiolato**  
**Helena Lastres**

136

matriz  
energética

LA MATRIZ  
ENERGÉTICA  
BRASILEÑA EN EL  
HORIZONTE DE 2050

**João Bosco de  
Almeida**

150

tecnología

LA GOBERNANZA  
DE LA CUARTA  
REVOLUCIÓN  
INDUSTRIAL

**Guido Bertucci**



**Carlos Siqueira**

Presidente nacional del Partido Socialista Brasileño.

## Por una revolución civilizadora en Brasil

El tema ciencia, tecnología e innovación ha sido objeto de la atención del Partido Socialista Brasileño (PSB) desde hace mucho tiempo. En varios momentos, liderazgos partidarios condujeron esa política pública, en la condición de ministros de Estado, buscando abordarla en el ámbito del ideario del socialismo democrático.

Para el PSB, la concepción y la implantación de las políticas de ciencia, tecnología e innovación deben partir de una visión de país, del lugar del país en el mundo y de los modos en que el progreso debe contribuir a revolucionar la sociedad brasileña, superando la mentalidad colonial que aún tenemos. Eso tiene desdoblamiento interno, pues desigualdad, violencia y prejuicio son elementos claros, y externos, ya que parte de nuestras élites piensa la inserción internacional de Brasil en los límites de sus propios intereses.

Pensar el país requiere formular un proyecto estratégico de desarrollo, algo que tenga por horizonte cincuenta años, y no las próximas elecciones o el futuro gobierno. Ese horizonte temporal requiere una amplia concertación, que articule el mundo político, las élites económicas y la sociedad civil en torno a ideas básicas, grandes vectores que den sentido y estimulen a todos, como participantes y beneficiarios del éxito que se pueda alcanzar.

Es fundamental abandonar la mentalidad de país colonizado, buscando una inserción en el mundo que nos lleve más allá de la condición de exportador de productos primarios.

Necesitamos, en primer lugar, revolucionar nuestra industria. Hacerla intensiva en tecnología, agregar valor a la producción, fabricar y exportar productos finales, en vez de concentrarnos en las etapas intermediarias de la cadena productiva, para enseguida importar, a precio de oro, aquellos mismos productos finales que deberíamos generar internamente.

Es imperativo concebir estrategias que nos lleven hacia el interior de la economía del conocimiento. Tenemos que emprender todos los esfuerzos posibles, superar todas las limitaciones, para que seamos productores de tecnología en todas las áreas relevantes, como robótica, biotecnología, sistemas e informaciones, movilidad y automatización, entre otras.

Precisamos vencer el desafío educacional, tarea de inmensa dimensión. Tenemos que ganar la batalla del analfabetismo, abriendo las puertas de la sociedad letrada para todos los brasileños.

En la enseñanza básica es imperioso sumar, a la universalización, de la cual nos aproximamos, la calidad. Niños y jóvenes deben adquirir los conocimientos esenciales en las letras, en las humanidades, en la matemática. Para eso es necesario la política en el sentido noble del término, voluntad, para no justificar la inacción a partir del fracaso que tuvimos en el pasado. Es esencial mirar al frente, aprender con el mundo, inventar soluciones que aún no se le ocurrieron a nadie y, definitivamente, pensar a largo plazo, con planificación,

presupuesto adecuado, políticas correctamente formuladas, estructura suficiente y eficiente.

En el ámbito de la enseñanza universitaria, es fundamental ampliar la proporción de carreras técnicas, en comparación con aquellas relacionadas con las humanidades. Ese requisito nada tiene que ver con la valoración del mérito de cada carrera, sino con una desproporción expresiva entre los dos tipos de formación, con desventaja de aquellas que son técnicas. Ese es un factor clave de éxito en la producción de tecnología, como bien demuestran las historias recientes de la India, de China y de otros países del Este Asiático.

Las condiciones señaladas hasta aquí, aunque esenciales, no son suficientes para organizar las de ciencia, tecnología e información.

Es fundamental articular instituciones de enseñanza e investigación, de un lado, y empresas, de otro. Las inversiones en el área deben ser incorporadas por las empresas en sus rutinas productivas y planificadas. Tal concertación exige interferencia estatal, pues son las universidades públicas las que, tradicionalmente, realizan pesquisa en Brasil.

No son pocos los ejemplos de éxito que merecen ser destacados. Inicialmente vale citar a la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa), que formó un amplio conjunto de técnicos y realizó investigación aplicada en todos los sectores en que actúa, contribuyendo de forma decisiva al desarrollo de la

agropecuaria brasileña, para la diversidad natural y para la protección de nuestros biomas.

En el segmento de materiales, existe un núcleo de excelencia articulado por la Marina brasileña, junto con instituciones universitarias, que han investigado fusiones especiales y nuevos materiales, con participación decisiva en el dominio completo del ciclo de enriquecimiento de uranio.

La producción de aeronaves civiles y militares ya se consolidó, a punto de tener en la Embraer una de las empresas líderes del mundo, especialmente en proyectos y producción de aviones de pequeño y medio porte, que son esenciales al competitivo mercado de vuelos domésticos, regionales y de corta distancia.

Hay que considerar, a pesar de esto, que todavía nos falta alcanzar avances de gran relevancia para fines de nuestra propia soberanía. De ello son ejemplos el desarrollo de satélites y el Programa Espacial Brasileño.

Aquí existe clara ausencia de percepción estratégica, lo que conduce, en la práctica, a la inexistencia de inversiones en el sector. El cuadro general puede medirse por el tratamiento que recibió la Alcântara Cyclone Space, empresa binacional constituida por Brasil y Ucrania, que tenía entre sus objetivos la transferencia de tecnología aeroespacial. Después de años de esfuerzos, con expresivos recursos ubicados en el proyecto, fue simplemente abandonado, como si fuese una “idea exótica”, desconsiderándose la relevancia de dominar tecnologías que tienen implicaciones claras sobre los intereses económicos estratégicos de Brasil, además de repercusiones en nuestra política de defensa.

El sistema hidroeléctrico brasileño alcanzó gran madurez, lo que ha permitido concebir y ejecutar proyectos complejos de ingeniería que nos dan una relativa tranquilidad en el frente energético, sin un exagerado impacto ambiental, pues tenemos una

dependencia moderada de combustibles fósiles para producir electricidad.

No llegamos todavía, sin embargo, a tener una matriz energética limpia, compatible con las potencialidades del país. Tenemos conocimiento desarrollado para la producción de energía eléctrica a partir de la biomasa, del Sol y de los vientos, que pueden tener aplicaciones en diferentes escalas.

A pesar de tantas posibilidades – desde el dominio de la energía nuclear hasta los beneficios de una geografía que permitiría al Nordeste brasileño ser un gran productor de energía limpia –, todavía faltan inversiones suficientes y políticas adecuadas, algo que limita de forma significativa nuestro crecimiento.

Aún con toda la reciente dificultad que la cercó, no se puede dejar de lado, como un caso de éxito, a Petrobras. Además de ser una de las mayores empresas del mundo, alcanzó liderazgo tecnológico en la explotación de reservas marítimas de petróleo, con la perforación de pozos de gran profundidad.

¿Qué nos enseñan esos ejemplos, entre otros, para el futuro de un proyecto nacional de desarrollo? Inicialmente, que es imprescindible diseñar una visión estratégica de futuro. Precisamos realizar todos los esfuerzos necesarios para la calificación tecnológica de nuestro parque industrial, organizando una política sectorial adecuada a esa finalidad.

En la última década, Brasil no tuvo una política industrial digna de este nombre. No hubo una adecuada selección de prioridades estratégicas y tampoco se fortaleció la inversión en el sector. El resultado de esa “no política” aparece en una fuerte desindustrialización del país, con impactos severos sobre niveles de renta, riqueza y empleo – cuya marcha sólo no es más catastrófica porque la informalidad tomó cuenta del desespero de los que no consiguieron retomar relaciones asalariadas.

Aumentan, aún más, las actividades vinculadas a los servicios, pero la inmensa mayoría de los negocios y empleos creados son de baja calidad.

La biotecnología constituye otra gran frontera estratégica en el tema de ciencia, tecnología e innovación, pues ella puede dar una gran contribución al aprovechamiento de los biomas brasileños, observándose de modo riguroso los requisitos de la preservación ambiental. En ese contexto, la Amazonia es una realidad específica, por sus potencialidades en las áreas de la biodiversidad, fármacos y otras. Hay igualmente una implicación en el ámbito de la defensa nacional, pues no es sencillo mantener ese inmenso territorio sin que pueda ser aprovechado de algún modo, especialmente para potencializar su preservación.

Es necesario, finalmente, que se desarrolle una industria electro-electrónica nacional, para librarnos de la condición de importadores permanentes de bienes de baja complejidad tecnológica, pero que tiene gran importancia en el consumo de las familias, lo que produce una presión constante sobre el balance de pagos.

Las preocupaciones que fueron señaladas aquí están presentes en los artículos que componen esta edición de la revista Política.

El PSB tiene una historia construida en la defensa de las agendas populares, del desarrollo, de la soberanía nacional. No podemos desear poco, o proponer sólo aquello que es convencional. No debemos acomodarnos a lo que interesa a una parte de nuestras élites, cuyo sentido de país termina en los límites de sus intereses.

El PSB es un sujeto colectivo que anima un proyecto civilizador dirigido a alcanzar los más elevados resultados del desarrollo tecnológico, en el contexto de una estrategia de inclusión de todo y cada sujeto humano, hasta el punto en que él pueda alcanzar plena autonomía.

Deseo a todos los afiliados(as), dirigentes, simpatizantes, ciudadanos(as) una excelente lectura y el mejor provecho, en el sentido de creer que podemos construir un Brasil diferente y mejor.



**Ricardo Coutinho**

Presidente da Fundação  
João Mangabeira.

## Desafíos de la ciencia en Brasil

Ocupan la vanguardia de la economía mundial contemporánea los agentes que crean nuevas combinaciones productivas, nuevos procesos y nuevos productos. Los pocos espacios nacionales y las pocas grandes empresas que concentran en sí la dinámica de la innovación capturan sucesivamente las posiciones de comando justamente porque consiguen recrearlas. Obtienen así grandes beneficios en la división internacional del trabajo.

Para sustentar ese proceso, las poblaciones de las sociedades más desarrolladas se dedican, en proporciones crecientes, a actividades de investigación, desarrollo, proyecto, planificación, educación y afines. Cada vez más, ocupan puestos de trabajo dedicados al conocimiento y a la información, *lato sensu*, en relación a aquellos que manosean directamente la materia. Aún sin efectuar actividad manual, esa inteligencia colectiva densifica las cadenas productivas y multiplica la productividad social del trabajo.

También desde ese punto de vista Brasil vive un gran impasse. En el siglo XX, demostramos gran capacidad de aprender las técnicas de la Segunda Revolución Industrial, pero no creamos un sistema productivo capaz de disputar el liderazgo de la innovación. Eso nos condena a una posición periférica.

No estamos en el punto cero, está claro. Formamos la mayor y más diversificada comunidad científica y tecnológica de América Latina, con más de 120 mil doctores en activo; establecimos importantes centros de investigación en diversas áreas; creamos empresas económicas de excelencia mundial. El Partido Socialista Brasileño ya dio grandes contribuciones a tales actividades.

Para dar cuenta de esa realidad compleja, repleta de problemas y potencialidades, dividimos los artículos de este número de *Politika*, dedicado a ciencia y tecnología en Brasil, en tres bloques: (a) los que tratan cuestiones generales de política científica y tecnológica, recuperando la trayectoria que

ya trillamos; (b) los que muestran experiencias brasileñas que tuvieron éxito; (c) los que discuten los desafíos actuales y hacen proyecciones para el futuro.



**Aldo Rebelo y Luis Antonio Paulino** sitúan el tema de ciencia y tecnología contra la tela de fondo de un proyecto nacional, pues puede ser usado tanto para la dominación como para la emancipación de los pueblos. Desde la aurora de la modernidad los Estados nacionales son decisivos, pues sólo ellos pueden correr los riesgos inherentes a las altas inversiones, al largo madurar y a las incertidumbres que cercan el resultado de innovaciones importantes. Todas las grandes

empresas privadas de tecnología, como Apple, Facebook y Google, dependieron de pesadas inversiones públicas para existir. Con la retracción de nuestro Estado nacional, Brasil viene perdiendo posiciones en la nueva división mundial del trabajo, mientras Asia gana protagonismo.



**João Alberto de Negri y Eric Jardim Cavalcanti** discuten los desafíos de la innovación en Brasil. Continúa embrionaria la unión entre actividad científica y creación de tecnología. Brasil ya produjo cerca de 3% del total de artículos científicos publicados en el mundo, pero registra apenas 0,1% de las patentes. Es bajísimo el porcentaje de industrias brasileñas que crean algún producto nuevo. Nuestra

inversión en investigación y desarrollo crece en tasas inferiores a las de los países avanzados y a un ritmo menor que la media mundial. Ese penoso nivel se relaciona también con la continua caída de la participación de la industria en el PIB y con la debilidad de nuestro sector de servicios de más alta intensidad tecnológica.

#### **Sergio Machado Rezende**

destaca los avances que obtuvimos, especialmente en la primera década del siglo XXI, pero llama la atención para la inestabilidad que aún predomina en las políticas públicas. Destaca el enorme retroceso reciente en el sistema federal de ciencia, tecnología e innovación con el cambio frecuente de ministros – uno por año, en promedio –,



cada uno con sus prioridades, provocando discontinuidades en muchos programas. La fusión del antiguo Ministerio de Ciencia y Tecnología con el de las Comunicaciones relegó el sistema de C&T a un nivel más bajo en la jerarquía del gobierno federal, y los cortes en los presupuestos del CNPq y de Capes han disminuido el número de becas. Corremos el riesgo de retroceder.



Pero existen casos de éxito.

#### **Antonio Flavio Dias Avila**

muestra cómo el éxito de la Embrapa se basó, en gran medida, en una pesada inversión en formación de personal. La empresa tiene hoy casi 2.100 investigadores con cursos de doctorado realizados en los mejores centros académicos de Brasil y del exterior. Personal

calificado, una sólida planificación estratégica y modernos procesos de gestión transformaron a la Embrapa en la más importante referencia mundial en agricultura tropical. La empresa fue decisiva para que Brasil consiguiese quintuplicar la producción de granos entre 1975 y 2017, apenas doblando el área plantada. Tal ganancia de productividad garantiza, de un lado, superávits en la balanza comercial del país y, de otro, alimentación más barata y de mejor calidad en el mercado interno.

En el mundo contemporáneo, ciencia y tecnología son actividades esenciales a las políticas de defensa. En este número de Politika, destacamos las contribuciones de la Marina y la Aeronáutica, que actúan en estrecha colaboración con universidades, centros de investigación y empresas civiles.

**Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho** y **Guilherme da Silva Sineiro** muestran que nuestra Marina investiga

intensamente en áreas de punta, como nuevos materiales, aleaciones especiales y dominio del espectro electromagnético. Gracias a ella, Brasil consiguió ingresar en el selecto club de países que dominan el ciclo completo de enriquecimiento de uranio. La producción de submarinos en instalaciones brasileñas garantiza la absorción de modernas tecnologías de construcción naval, con alto grado de nacionalización de equipamientos y sistemas.



**Thiago Caliarí y José Henrique de Sousa Damiani** cuentan cómo la Aeronáutica ayudó a transformar la región de São José dos Campos (SP) en uno de los grandes polos mundiales de producción aeroespacial, con la acción integrada de gobiernos, empresas privadas y centros académicos de excelencia. Se trata de un sector muy competitivo, con aplicaciones civiles y militares, demandante de trabajo altamente calificado y con grandes barreras a su entrada, que exige décadas para madurar.



**Roberto Pereira d'Araújo** devela las especificidades del sistema eléctrico brasileño, que presenta características únicas en el mundo, siendo, por eso, objeto de gran desinformación. En cierto momento de su historia, a partir de la década de 1960, Brasil comprendió claramente las potencialidades de su geografía y creó conocimiento nuevo en producción y distribución de electricidad. Operadas en red, las líneas de transmisión pasaron a tener un papel activo en la oferta de la energía, incrementando 20% de carga al sistema. La idea de operar cada usina aisladamente no tiene sentido. Desde la década de 1990, sin embargo, se intenta aumentar los espacios mercantiles en el interior de ese sistema esencialmente cooperativo, a costa de acumular costos, complejidades e irracionalidades, todo repasado al consumidor. En este caso, un gran hecho tecnológico brasileño está amenazado.

Llegamos al tercer grupo de artículos, que nos habla de los desafíos futuros. **José Cassiolato**



y **Helena Lastres** llaman la atención para un aspecto importante: la agenda brasileña de ciencia, tecnología e innovación no debe alejarse de la cuestión social y de las potencialidades de los territorios. Alimentación, salud, educación, habitación, tratamiento de residuos sólidos, acceso a agua potable y desecho sanitario, entre otros servicios esenciales, también demandan soluciones innovadoras, portadoras de mucho conocimiento. Brasil posee una estructura productiva heterogénea, presenta importantes desigualdades regionales y cuenta con sectores tradicionales con gran peso en la generación de



empleo y renta. Precisamos, pues, encontrar caminos propios, que tomen en cuenta condiciones sociales y territoriales específicas, lo que nos remite de vuelta a la necesidad de un proyecto nacional. Además de eso, los autores destacan que no se puede esperar que las políticas científicas y tecnológicas obtengan éxito en un ambiente macroeconómico hostil al desarrollo.



**João Bosco de Almeida** nos habla de una de las grandes potencialidades de Brasil. En un mundo que lidia con escasez, podemos consolidar aquí una matriz energética limpia y abundante, basada en recursos renovables, pues disponemos de biomasa, ríos, vientos e insolación en gran escala, al lado de petróleo, gas natural y uranio. Él concluye el artículo con un desafío: "En la década de 1960 se decidió que el desarrollo del Nordeste brasileño sería hecho con industrialización. Hoy, el gobierno podría orientar sus políticas para que el Nordeste sea el principal suministrador de energía para Brasil a partir de fuentes renovables." Es una idea brillante para desarrollar la región que tiene los mejores vientos, recibe la mayor insolación, cuenta con 3 mil kilómetros de litoral para la construcción de usinas eólicas *offshore*, abriga las mayores reservas de uranio, produce mucha biomasa y tiene grandes áreas propicias para la plantación de bosques energéticos.

Finalmente, **Guido Bertucci**, de los Estados Unidos, discute los impactos de la Cuarta Revolución Industrial, en curso, caracterizada por cambios sistémicos y por la interdependencia de diferentes tecnologías, con innovaciones importantes de naturaleza digital, biológica y física. El progreso ha sido muy rápido en computación cuántica, internet de las cosas, impresión en 3D, *big data*, cadenas de bloques de datos [*blockchains*], aprendizaje de las máquinas y economía bajo demanda, perturbando industrias, negocios, profesiones e instituciones. En el mercado de trabajo, profesiones tradicionales tienden a desaparecer, mientras otras surgen y se expanden. La acción gubernamental necesitará cambiar de calidad para acompañar tantas transformaciones.

Al entregar este sexto número de *Politika*, en ediciones en portugués, español e inglés, la Fundación João Mangabeira reafirma su compromiso con el debate calificado de las grandes cuestiones de Brasil y del mundo.



# CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN BRASIL:

## desafíos al proyecto nacional

El perfeccionamiento de los navíos confirió a Portugal la delantera en las grandes navegaciones. La máquina de vapor preparó la hegemonía de Inglaterra. La ecuación de Einstein anunció la era atómica. A lo largo de la historia, ciencia y tecnología fueron instrumentos de dominación y emancipación. El atraso de Brasil en esas áreas ayuda a explicar nuestro proceso de desindustrialización, los déficits externos y la pérdida de empleos calificados, justamente los más bien remunerados. Mientras Asia gana protagonismo, nosotros estamos perdiendo posiciones en la nueva división internacional del trabajo, que está transformando radicalmente el modo en que proyectamos, producimos y usamos las cosas.



### Aldo Rebelo\* y Luís Antonio Paulino\*\*

\* Secretario-jefe de la Casa Civil del gobierno del estado de São Paulo en la gestión de Márcio França. Fue ministro de la Secretaría de Coordinación Política y Asuntos Institucionales (2003-2005), presidente de la Cámara de Diputados (2005-2006), ministro de Deporte (2012-2014), ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação (2015) y ministro de Defensa (2016).

\*\* Profesor libre-docente en la Universidad Estadual Paulista (Unesp) y director del Instituto Confucio en la Unesp.



## Introducción

El desarrollo de la humanidad está profundamente vinculado al esfuerzo de los descubrimientos científicos, de las conquistas tecnológicas y de las innovaciones que elevaron el patrón de vida material y espiritual de las personas.

El manejo del fuego como fuente primitiva de energía dio a los hombres el primer gran salto en el precario patrón de vida del Paleolítico. La invención de la rueda alteró los conceptos de tiempo y de velocidad en el transporte de equipamientos domésticos, de objetos con finalidades comerciales y de artefactos militares. La domesticación del caballo en las estepas de Asia, para montería y tracción, alteró para siempre el traslado para fines civiles y militares. La caballería cambió el concepto de la guerra, pues el caballo extendió como nunca la logística militar. Los pocos caballos traídos por Hernán Cortés fueron suficientes para establecer la superioridad de los invasores españoles contra la infantería azteca en lo que es hoy México.

Ciencia, tecnología e innovación se combinaron para transformar la vida y la geopolítica en tres situaciones emblemáticas: (a) las grandes navegaciones de los portugueses y españoles en los siglos XV y XVI; (b) la máquina a vapor, con el subsecuente establecimiento de la hegemonía industrial, comercial, militar, diplomática y cultural de Inglaterra en el siglo XIX; (c) la fórmula de Einstein ( $E = mc^2$ ), convertida en la bomba atómica por los Estados Unidos como instrumento de dominio militar en el siglo XX.

Al reunir en la llamada Escuela de Sagres las técnicas y el conocimiento de chinos y árabes sobre la navegación, el infante don Henrique garantizó a Portugal la delantera en la carrera por el descubrimiento de una ruta de comercio para Asia que contornase el bloqueo turco, establecido después de la toma de Constantinopla.

La vela latina, o triangular, permitió la navegación contra el viento. Introducida en el Mediterráneo por los árabes, pero de origen desconocido, ella ayudó a Vasco da Gama en aventuras por mares nunca antes navegados. Por su ligereza y agilidad, la caravela fue decisiva para superar distancias transoceánicas. La brújula y el astrolabio completaban el arsenal tecnológico de los navegantes, además de los cañones de bordo, está claro.

Así, Portugal y España dispersaron por el mundo su influencia comercial, la fe católica y los respectivos idiomas, hablados hasta hoy por pueblos de América, de África y de Asia.

La innovación promovida por los portugueses llevó a un pequeño país, con pequeña población, a un protagonismo que duró siglos en la geopolítica del mundo. El épico *Os Lusíadas*, de Luís Vaz de Camões, elevó la literatura portuguesa al nivel de los clásicos eternos al cantar las glorias y los hechos de los navegantes lusitanos.

En la transición del siglo XVI-II para el siglo XIX la economía china ocupaba el primer lugar en el mundo. Pero ese panorama luego cambió, con la adaptación de una antigua invención del griego Herón de Alejandría: la máquina a vapor.

**El grado de dominio de la ciencia, de la tecnología y de la innovación determina la posición de cada país en el sistema internacional. Eso es asunto de Estado, de proyecto nacional. Exige una visión a largo plazo. No puede depender de los humores de los mercados financieros.**

El inglés James Watt convirtió el ingenio griego en un equipamiento poderoso, que revolucionó la industria textil de Inglaterra. Este país pasó a liderar la producción industrial y, enseguida, la economía del planeta. Era el prodigio alcanzado por la conversión de una curiosidad científica en invención, y de la invención en instrumento de un proyecto de desarrollo nacional y de dominación colonial.

## Tecnología como instrumento de dominación

En 1793, el rey Jorge III envió a Lord Macartney en embajada al emperador Qianlong para ofrecer las maravillas de la industria inglesa a los consumidores chinos. Después de una temporada en el puerto de Rio de Janeiro para descanso y abastecimiento, la gran expedición llegó a China, donde fue recibida con reverencias y gran pompa. Pero Qianlong no se interesó por las novedades. China producía tejidos finos en grandes can-

tidades, de modo que las piezas de la industria textil británica no causaron admiración. Por eso, los chinos conocieron, años después, otro equipamiento producido por la máquina a vapor: las cañoneras inglesas que bombardearon y ocuparon el puerto de Cantón. La Guerra del Opio obligó a China a abrir su mercado para las drogas producidas en las colonias británicas y los tejidos de las fábricas de Manchester.

Con sus puertos ocupados por potencias europeas, China fue sometida a un proceso de dominación colonial. En la entrada del barrio inglés de Shanghai se podía leer la inscripción: “Prohibida la entrada de perros y de chinos”. La humillación era suprema, pero la explotación era aún mayor. Nació en ese período la expresión “negocio de China” para designar transacciones en que un lado obtiene ventaja desproporcional.

Solamente en 1998 Inglaterra devolvió Hong Kong a los chinos. Macao fue devuelta al año siguiente, después de un acuerdo entre China y Portugal.

★ ★ ★

Al inicio del siglo XX, el físico alemán Albert Einstein reveló al mundo una ecuación que reunía y sintetizaba el esfuerzo de científicos de varios países en muchos años de investigación:  $E = mc^2$ . La energía era igual a la masa multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado. Era una revolución en la ciencia y una promesa para el futuro de la humanidad: una pequeña porción de materia podría convertirse en enorme cantidad de energía.

El descubrimiento de Einstein generó tecnologías de uso pacífico: sometidos a la centrifugación, ciertos materiales pueden producir combustible o derivados para la producción de fármacos usados en el tratamiento de muchas enfermedades, por ejemplo. Pero el uso más importante y más duradero de la ecuación fueron las bombas atómicas lanzadas por los Estados Unidos sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki en 1945, en el crepúsculo de la Segunda Guerra Mundial. Hasta hoy el archipiélago japonés guarda parte del arsenal nuclear norteamericano por causa del acuerdo de rendición firmado después del conflicto.

La investigación y la producción de derivados de la industria nuclear son las únicas actividades para las cuales no se reconoce propiedad intelectual e industrial, lo que garantiza plena libertad a las potencias, que pueden sofisticar y multiplicar sus arsenales.

### Tecnología como instrumento de emancipación

En Brasil, el esfuerzo de innovación se confunde con la propia formación de la nación. En el siglo XVI, según el historiador Jorge Caldeira, “mientras los médicos europeos manipulaban algo así como 150 especies vegetales, algunas poblaciones trabajaban con cerca de 3 mil especies. [...] 3/4 de todas las drogas medicinales de origen vegetal usadas actualmente en el mundo derivan de ese conocimiento nativo”<sup>1</sup>.

Gilberto Freyre relata el conflicto en Recife, en el siglo

XVIII, entre moradores y autoridades portuguesas que prohibieron la actividad de curanderos y rezadoras detentores del conocimiento nativo. Con sus plantas, ellos trataban enfermedades tropicales desconocidas para médicos europeos con sólida formación académica.

Ya en el siglo XVI los portugueses establecieron en Brasil los primeros ingenios, vanguardia de la actividad industrial, productos de la más valiosa commodity de entonces, la caña de azúcar. Si comparamos el proceso de producción del primer ingenio introducido por doña Ana Pimentel en la capitanía de São Vicente con las actuales industrias de etanol, de segunda generación, describiremos una larga y victoriosa trayectoria de innovación en esa importante actividad industrial de Brasil.

El edicto de Don João VI, de 1809, concediendo ventajas a los inventores y un período de monopolio sobre sus inventos, constituye la primera ley de propiedad intelectual de Brasil y la cuarta del mundo, seguida de leyes semejantes en Inglaterra, Francia y los Estados Unidos.

El brasileño Bartolomeu de Gusmão, el “padre volador”, fue el primer hombre en hacer volar el aeróstato, llamado “passarola”, en 1709, ante una Lisboa sorprendida y admirada. Esa tradición de brasileños interesados en superar los límites de la gravedad fue seguida por Augusto Severo y Santos Dumont en el París de fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

Antes de Santos Dumont, Augusto Severo intentará la misma

proeza que el genio del 14Bis consiguió realizar. El artefacto del piloto e ingeniero explotó en el aire y cayó sobre la capital francesa. La calle que testimonió el siniestro recibió el nombre del inventor brasileño.

Ingeniero, industrial, inventor y político de Rio Grande do Norte, Severo es poco recordado, lo que constituye una injusticia, pues su esfuerzo iguala la sagacidad de Santos Dumont en liberar al hombre de los límites de la gravedad. Además de una calle en São Paulo, su nombre bautiza el antiguo aeropuerto de Natal. Muy poco para tan gran ejemplo.

Por mucho tiempo, la escasez de centros universitarios y de investigación restringió el universo científico del país a un grupo de investigadores oriundos de las escuelas militares o de las facultades de medicina o de derecho.

Arthur Ramos, Nise da Silveira, Anísio Teixeira, Josué de Castro, Pirajá da Silva, Rocha Lima, Samuel Pessoa, Alberto da Mota e Silva, Casimiro Montenegro, Carlos Chagas, Vital Brazil, Othon Pinheiro, entre otros, se destacaron como inventores y pioneros en ciencias sociales, medicina, investigación nuclear y espacial.

Gilberto Freyre y Darcy Ribeiro, en las ciencias sociales, César Lattes, Mário Schenberg y José Leite Lopes, en la física, son excepciones que confirman la regla de médicos y bachilleres dedicados a la enseñanza y a la investigación en Brasil.

El presidente Sarney creó el Ministerio de Ciencia y Tecnología a partir de las estructuras, ya existentes, del Consejo Nacional

de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y de la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP). El primer titular del ministerio fue Renato Archer, un antiguo discípulo de Alberto da Mota e Silva, fundador del CNPq. Ambos eran oficiales de la Marina interesados en ciencia e investigación.

Hoy Brasil dispone de una sofisticada red de universidades e institutos, federales y estatales – en este caso, principalmente de São Paulo –, que se dedican al desarrollo científico y tecnológico y a la innovación. Este sistema dispone de importantes instrumentos de financiamiento, estructurados en fondos propios o en leyes espe-

cíficas, como es el caso de la Fapesp en São Paulo.

Un estudio divulgado en 2014 por la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) mostró que los recursos mundiales para investigación, desarrollo e innovación habían sido reducidos a la mitad. La crisis que alcanzó a la economía brasileña también alcanzó al presupuesto del gobierno federal para investigación, con perjuicio para el esfuerzo de renovación de los equipos y el financiamiento de equipamientos y proyectos. Cuando ocupé el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, preparé y presenté un decreto para la presidente Dilma Rousseff, incluyendo ciencia



e investigación como un área a ser beneficiada con los recursos del pre-sal, junto con educación y salud. En la época, yo dije a la presidente que no tenía sentido desvincular educación y salud, de un lado, y ciencia e investigación, de otro. Constaté la inexistencia de una única obra ligada a ciencia, tecnología e innovación en el Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC) y afirmé que no tenía sentido buscar desarrollo, descuidando ciencia e investigación. Conseguí incluir en el PAC las obras del acelerador de partículas Sirius, en Campinas, y del Reactor Multipropósito Brasileño, en São Paulo.

Todavía en el ministerio, defendí la meta de alcanzar la destinación de 2% del PIB para ciencia e investigación. Señalé las graves consecuencias de nuestras deficiencias en ciencia, investigación e innovación para la competitividad de la economía y la calidad de los empleos generados en Brasil. El atraso tecnológico del país explica el proceso de desindustrialización, los crecientes déficits en transacciones corrientes y la pérdida de empleos calificados.

Ciencia, tecnología e innovación determinaron y continúan determinando el lugar de los países en el mundo. Ocupar la posición de protagonista o ser un simple punto en el mapamundi depende de la capacidad científica y tecnológica del país, tanto en economía como en defensa. La calidad de la educación y la capacidad de innovar en procesos industriales y en defensa nacional marcan el pasado reciente, el presente y el futuro de la disputa entre las naciones.

## El Estado por detrás de la ciencia y la innovación

En la década de 1980, era casi senso común la idea de que la economía japonesa se volvería más competitiva que la norteamericana. Jugábase en ese entonces con la expresión “mi japonés es mejor que el tuyo”, en referencia a la calidad de los productos japoneses, principalmente los electrónicos.

La disputa generó un malestar que ultrapasó las fronteras de la economía, invadiendo la geopolítica y la cultura de masas. Akio Morita divulgó las proezas de Sony en su libro *Made in Japan*, publicado en 1986. Shintaro Ishihara, intelectual y ex-gobernador de Tokio, amplió la animosidad al divulgar el ensayo titulado *El Japón que sabe decir no*, una proclamación de amenazas a los Estados Unidos y de afirmación de la superioridad nipona. La traducción para el inglés salió en 1991.

En los Estados Unidos la onda antijaponesa no era menor. En 1989, el cineasta Ridley Scott estrenó *Lluvia negra*, donde el actor Michael Douglas es un policía norteamericano que va a Japón a perseguir a la mafia local, Yakuza, y ejecutar a sus integrantes. No podría haber fábula más explícita para revelar el estado de espíritu de los Estados Unidos en relación al país asiático. En 1992, Michael Crichton, escritor de *best-sellers*, publicó *Sol naciente*, novela que denuncia la pretendida deslealtad de las empresas japonesas.

Tal era el ambiente cuando Bill Clinton fue electo presidente de los Estados Unidos en 1992. Él convocó a Laura Tyson, investigadora

de Berkeley, y puso el desafío sobre la mesa: cómo enfrentar la creciente competitividad japonesa y recuperar el aliento de la industria y la tecnología norteamericanas?

Clinton recibió un diagnóstico crítico, pero optimista. Los Estados Unidos eran la mayor economía del mundo, disponían del mayor presupuesto para ciencia e investigación, contaban con las mejores universidades y los mejores institutos y reunían los mejores cerebros del planeta en sus laboratorios. Las mayores empresas del mundo estaban sedeadas allí.

Para reubicar al país en el liderazgo, el equipo de consultores recomendó la ampliación de los recursos para investigación, el aumento de las encomiendas a empresas en sectores problemáticos y la integración del sistema de innovación. Hecho esto, la idea de que la economía japonesa ultrapasaría a la norteamericana se volvió una leyenda.

Mariana Mazzucato, investigadora titular en economía de la innovación en el Departamento de Investigación en Ciencia Política de la prestigiosa Universidad de Sussex, en Inglaterra, escribió el importante libro *El Estado em-*

**Sin apoyo de los respectivos Estados nacionales no existirían las grandes empresas privadas que dominan la economía mundial. Ellas no se desarrollaron espontáneamente.**

*prendedor*, celebrado en el mundo entero por defender la presencia del Estado en el esfuerzo de investigación e innovación. Apoyada en minuciosa investigación, Mazzucato prueba que sin dinero del Estado no existirían las grandes empresas de tecnología que dominan el mundo a partir de los Estados Unidos. Financiadas por el Estado, Apple, Facebook y Google produjeron aplicativos y servicios que determinan la hegemonía norteamericana en el sector. La tesis de Mazzucato es que sólo el Estado puede correr los riesgos inherentes a las altas inversiones en ciencia, investigación e innovación.

Los norteamericanos continúan siendo desafiados en el espacio euroasiático. Rusia asombra, al demostrar la recuperación de su capacidad militar, ampliamente victoriosa en el conflicto de Siria. China traslada su esfuerzo científico y tecnológico para dotar a su economía de elevado patrón tecnológico y así reafirmar la propia trayectoria en dirección al liderazgo mundial.

## Tecnología: el rey Jano moderno

Fueron enormes los impactos de las tres revoluciones industriales de los últimos 250 años. La primera transformó radicalmente el mundo. Las nuevas tecnologías introducidas a partir de la máquina a vapor que mecanizó el hilado y el tejido dieron origen a nuevos sistemas de producción, transporte, intercambio y distribución de productos.

Pero, así como el rey Jano, la tecnología tiene dos caras. La Primera Revolución Industrial contribuyó a enriquecer al mundo y

elevar el patrón general de vida material de la sociedad, pero también permitió el aumento en la explotación y la expansión del colonialismo. A mediados del siglo XVIII, aprovechando la superioridad tecnológica, económica y militar, Inglaterra y las potencias aliadas impusieron los llamados “tratados desiguales”, o “tratados inícuos”, a países tan diferentes como Brasil (Apertura de los Puertos en 1810), China (Tratado de Nanquim en 1842) y Japón (Tratados Ansei en 1858).

A partir del dominio de la electricidad, la Segunda Revolución Industrial permitió introducir entre 1870 y 1930 un nuevo conjunto de invenciones e innovaciones, como radio, teléfono, televisión, iluminación eléctrica, electrodomésticos y refrigeración. Las innovaciones en tratamiento de agua, saneamiento y salud permitieron que la expectativa de vida prácticamente doblase en todos los países. Los descubrimientos en química, como la sintetización del amonio por medio del proceso Haber-Bosch, hicieron posible producir fertilizantes a base de nitrógeno, preparando la “revolución verde” que ocurrió en la década de 1950.

Estos avances tecnológicos ampliaron la distancia entre países ricos y pobres y estuvieron presentes en la eclosión de dos guerras mundiales que arrebataron decenas de millones de vidas, por la letalidad de las nuevas armas.

El desarrollo de las tecnologías digitales, en la segunda mitad del siglo XX, abrió camino para una tercera ola de innovaciones en áreas tan variadas como tecnologías de la información, microelectrónica, biotecnología, nanotecnología y robó-

tica, entre otras. La reducción de los costos de transporte y de transacción, proporcionada por las nuevas tecnologías de la información, nombrada Internet, promovió un nuevo cambio en el sistema global de producción, llevando a la creación de las cadenas globales de valor y a la profundización del proceso de globalización productiva.

Tal fenómeno generó una nueva división internacional del trabajo en la cual las actividades intensivas en conocimiento y tecnología pasaron a localizarse cada vez más en los países ricos, junto a las matrices de las grandes empresas multinacionales, pues son las más lucrativas y requieren mano de obra más calificada y bien remunerada. Añádase el interés de esas grandes empresas en mantener en sus matrices el control sobre la tecnología y los secretos industriales. En contrapartida, las actividades intensivas en mano de obra, sobre todo la más barata, así como aquellas intensivas en el uso de materias primas y energía, o más contaminantes, fueron trasladadas para los países en desarrollo.

Esta nueva división internacional del trabajo, viabilizada por las innovaciones consecuencia de la Tercera Revolución Industrial, tiene resultados contradictorios. De un lado, ella profundizó aún más una división del trabajo que concentra en los países ricos las actividades generadoras de mayor valor agregado y más intensivas en conocimiento. Del otro, al viabilizar la integración de los países en desarrollo a las cadenas globales de valor, permitió que por primera vez la contribución de ellos a la generación global de riqueza ultrapasase la de los países ricos.

El país que sacó mayor ventaja de esa nueva coyuntura fue China, que se convirtió en la segunda mayor economía y en el mayor exportador mundial de manufacturas. India también se benefició, ocupando un espacio importante en el área de tecnologías de la información.

### Brasil y la nueva división internacional del trabajo

Brasil, al contrario de China y la India, ha experimentado un proceso prematuro de desindustrialización, asociado a una fuerte tendencia de reprimarización de la economía. Eso se revela tanto en la calidad de los empleos generados como en el contenido tecnológico de nuestras exportaciones.

Conforme se observa en la Figura 1, según datos del Ministerio del Trabajo y Empleo, la generación líquida de empleos en el país

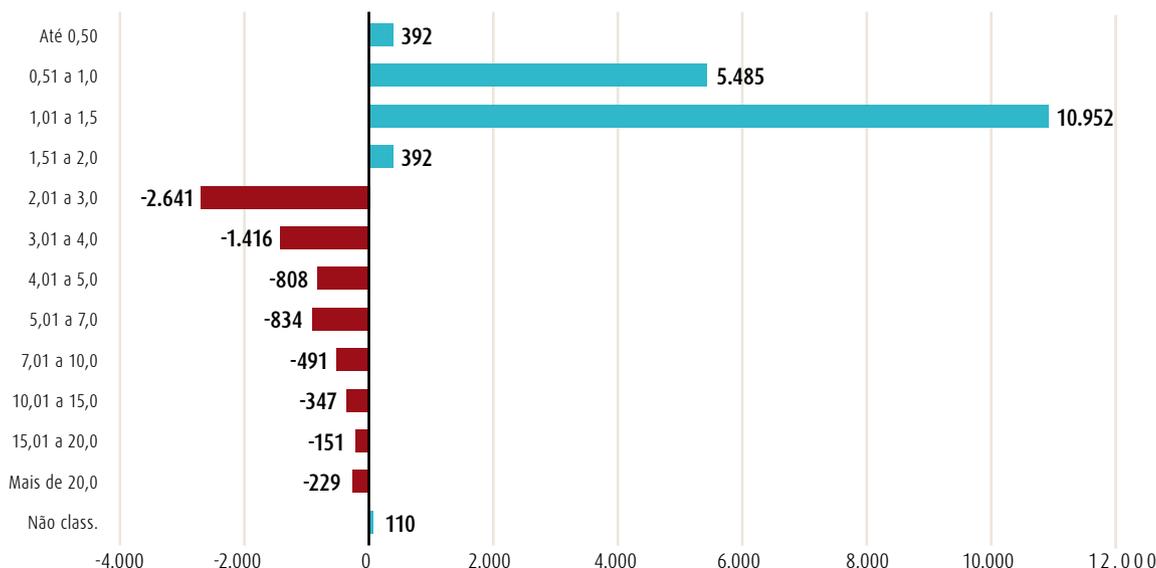
fue de 10,4 millones de puestos formales de trabajo entre 2003 y 2017. Pero la distribución de ese saldo de empleos por escalas salariales trajo una revelación preocupante: en la escala de 0,5 a 2,0 salarios mínimos tuvimos un saldo positivo de 17,2 millones de puestos formales de trabajo, pero hubo una pérdida líquida de 6,9 millones de puestos que pagaban por encima de dos salarios mínimos. Las mayores pérdidas están concentradas en las escalas de 2 a 3 salarios mínimos (menos 2,6 millones de plazas) y de 3 a 4 salarios mínimos (menos 1,4 millón de plazas).

Se observa en Brasil un movimiento opuesto al de China. Mientras el costo medio de la mano de obra en el corazón industrial costero de aquel país más que duplicó en comparación al sector industrial de los Estados Unidos, pasando de cerca de 30% en 2000 para 64%

en 2015, en Brasil se estableció la tendencia de generar empleos cada vez más mal pagados.

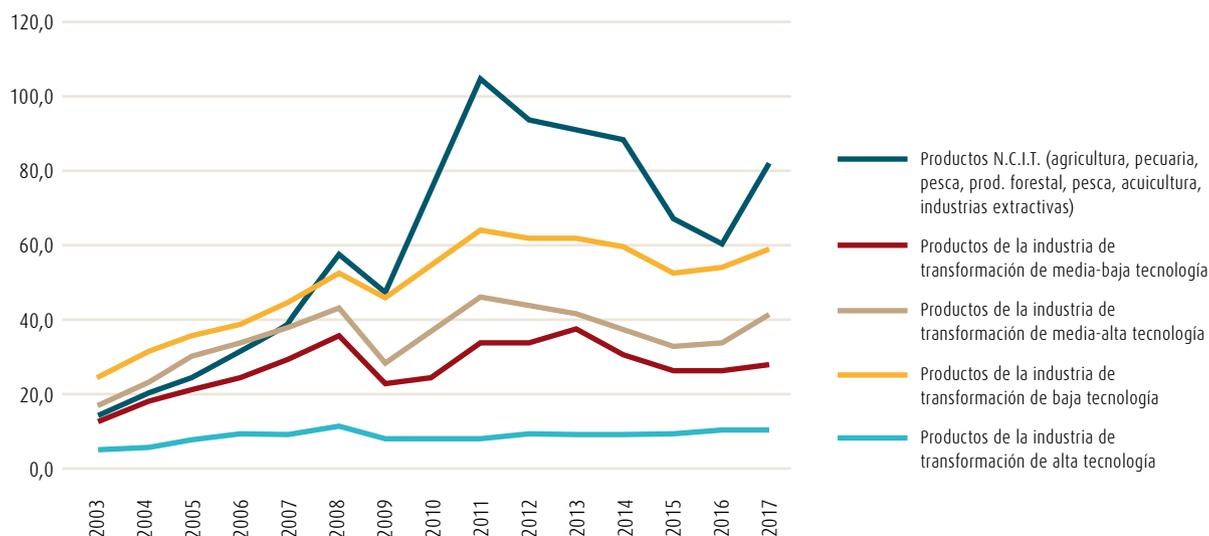
Este fenómeno de empobrecimiento tecnológico de la producción industrial brasileña también aparece cuando se toma en cuenta la evolución de nuestras exportaciones, desagregadas por contenido tecnológico. Como se observa en la Figura 2, entre 2003 y 2017 la pauta de exportaciones brasileñas fue dominada cada vez más por *commodities*, minerales y agrícolas, y productos de la industria de transformación de baja intensidad tecnológica. La participación relativa de los productos de alta intensidad tecnológica (aeronaves, equipamientos de informática, productos electrónicos y ópticos y productos farmoquímicos y farmacéuticos) se encuentra aproximadamente en los mismos niveles en los últimos dieciséis años.

**Figura 1 | Saldo de puestos formales de trabajo en Brasil por escalas salariales en número de salarios mínimos (2003-2017) - en millares**



Fuente: Ministerio del Trabajo y Empleo, Cadastro General de Empleados y Desempleados (Caged). Elaboración de los autores.

**Figura 2 | Exportaciones brasileñas por intensidad tecnológica (2003-2017) - US\$ billones**



Fuente: Ministerio de Industria, Comercio Exterior y Servicios. Elaboración de los autores.

## La Cuarta Revolución Industrial: nuevos desafíos para los países en desarrollo

El mundo asiste hoy a la transición para lo que se convenió llamar de Cuarta Revolución Industrial. Avances en las áreas de inteligencia artificial y robótica, neurotecnologías, realidad virtual aumentada, nuevos materiales y tecnologías de energía prometen transformar radicalmente el modo como producimos y usamos las cosas. Son enormes los beneficios y los riesgos potenciales de esas nuevas tecnologías en todos los campos de la actividad humana.

Comparadas con las revoluciones industriales anteriores, las tecnologías digitales introducen un riesgo mucho mayor de que los vencedores de esa nueva corrida tecnológica puedan tomar todos los mercados y establecer un poder de monopolio. Google controla casi 90% del mercado global de bús-

quedas y propaganda en Internet, Facebook 77% del tráfico de redes sociales y Amazon casi 75% del mercado de libros electrónicos.

La expansión digital de la Tercera Revolución Industrial permitió expandir las cadenas globales de valor e integrar países en desarrollo en el sistema global de producción. La revolución actual puede tener el efecto inverso. Avances en robótica, inteligencia artificial, nuevos materiales e impresión en 3D pueden volver irrelevantes las ventajas comparativas que permitieron a diversos países, especialmente a China, insertarse en las cadenas globales de valor.

Robots más sofisticados, operando con inteligencia artificial y cada vez más baratos pueden eliminar la necesidad de transferir ciertas etapas de la actividad industrial para países con mano de obra de bajo costo, como sucedió en las últimas décadas. Podemos asistir al encogimiento de las cadenas glo-

bales de valor, llevando a la exclusión de millones de trabajadores y a la precarización de las condiciones de vida de centenas de millones de personas en los países desarrollados y en desarrollo. En los Estados Unidos, por ejemplo, 94% de los nuevos empleos creados entre 2005 y 2015 son en “formas alternativas de trabajo”, sin protección social, derechos laborales o cualquier tipo de control significativo por parte de los trabajadores.

Ante este cuadro, China viene tomando una serie de medidas con el objetivo de alterar las bases de su actual modelo económico. La transición del país para un nuevo camino, basado en innovaciones tecnológicas, es necesaria para continuar su proceso de desarrollo. Habiendo acelerado su crecimiento en los últimos treinta años con base en el uso de tecnologías maduras, imitación, pocos derechos de propiedad intelectual de los residentes y hasta violación, en algu-

nos casos, de derechos de propiedad intelectual de extranjeros, la cuestión ahora es generar innovaciones autóctonas.

En 2006, el gobierno adoptó la decisión estratégica de transformar a China en un país innovador. En aquel año, la IV Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología estableció los siguientes puntos: (a) el progreso técnico sería la principal fuerza impulsora del desarrollo económico y social; (b) la capacidad independiente de innovación sería la principal unión entre la restauración económica, el cambio en el modelo de crecimiento y la mejoría de la competitividad nacional; (c) la construcción de un país innovador sería el principal objetivo estratégico.

En 2015, el gobierno lanzó una nueva política industrial denominada “Made in China 2025”, cuyo principal objetivo es hacer al país independiente en tecnologías de punta y menos dependiente de la importación de componentes de alto contenido tecnológico (en 2014, China gastó más con la importación de semiconductores que con la compra de petróleo). El plan es una combinación de propuestas para estimular los objetivos tecnológicos del país. Teniendo como modelo el *Industrie 4.0* de Alemania, es un guión para desviar al sector industrial de actividades que usan mucha mano de obra y fabrican productos de bajo valor – por los cuales el país es conocido – hacia un modelo calcado en tecnología inteligente, algo doblemente útil, una vez que los costos de mano de obra están subiendo. Aunque el objetivo del proyecto “Made in China 2025” sea mo-

dernizar la industria en general, R. Barbosa (2017) dice que “el plan indica diez sectores prioritarios: nueva tecnología avanzada de información; robótica y máquinas automatizadas; aeroespacio y equipamiento aeronáutico; equipamiento naval y navíos de alta tecnología; equipamiento de transporte ferroviario moderno; vehículos y equipamientos eléctricos; equipamientos de generación de energía; máquinas agrícolas; nuevos materiales, biofármacos y productos médicos avanzados”.

Con el plan, China ansía producir partes y componentes de alto valor agregado, aumentando para 40% el contenido nacional usado en los productos tecnológicos hasta el año 2020 y llegando a 70% en 2025. Las empresas que se beneficiaran de ese apoyo deberán alcanzar una participación de por lo menos 80% en el mercado doméstico en apenas ocho años. La ascensión de la industria de alta tecnología de China ha sido impulsada por el crecimiento de las inversiones en investigación y desarrollo. De acuerdo con el *Battelle Memorial Institute*, China deberá ultrapasar a Europa en términos de gastos en P&D en 2018 y a los Estados Unidos en 2022.

Frente a estos nuevos desafíos, no resta a Brasil otra alternativa sino invertir pesadamente en ciencia y tecnología y en investigación y desarrollo, caso tengamos la pretensión de desempeñar algún papel en el mundo en este siglo XXI. En verdad, no se trata de una opción, pues la alternativa es volvernos irrelevantes. Resta a Brasil invertir pesadamente en ciencia y tecnología y en investigación y desarrollo. ■

## Nota

1. Caldeira, 2017, p.23

## Referencias bibliográficas

- BARBOSA, R. *Made in China 2025*. O Estado de S. Paulo, São Paulo, p. A2, 28 mar. 2017. Disponible en: <<https://opiniao.estadao.com.br/noticias/general/made-in-china-em-2025,70001716537>> Acceso en 18/10/2018
- CALDEIRA, Jorge. *Historia de la riqueza en Brasil*. Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2017.
- FREYRE, Gilberto. *Hombres, ingenierías y rumbos sociales*. Rio de Janeiro: Record, 1987.
- HU, Angang. *China in 2020. A New Type of Superpower*. Washington: Brookings Institution Press, 2011.
- LUCAS, F. e FENG, E. “De la copia a la innovación, el nuevo Made in China”. *Valor*, p. A16, 24 mar. 2017.
- MAZZUCATO, Mariana. *El Estado emprendedor. desenmascarando el mito del sector público vs. sector privado*. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.
- OSAWA, Juro e MOZUR, Paul. “The Rise of China’s Innovation Machine”. *The Wall Street Journal*, 16/10/2014. Disponible en <https://www.wsj.com/articles/the-rise-of-china8217s-innovation-machine-1389900484>. Acceso en 18/10/2018
- SCHWAB, Klaus. *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum, 2018
- TYSON, Laura D’Andrea. *Who’s bashing whom? Trade Conflict in High-Tech Industry*. Washington, DC: Institute for International Economics, 1992.
- VIEIRA PINTO, Álvaro. *El concepto de tecnología*, 2 v., Contraponto, 2005.

# DESAFÍOS DE LA INNOVACIÓN EN BRASIL



## João Alberto De Negri

Doctor en economía por la UnB, pos-Doctor por el MIT, investigador del Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA).

El tiempo de maduración de las iniciativas en ciencia y tecnología es imprevisible, lo que hace al Estado un actor de peso en todo el mundo. Los países más desarrollados escogen áreas científicas y definen tecnologías críticas a ser dominadas, ubicando recursos, de modo planificado, para impulsar la innovación en los sectores seleccionados. No hay desarrollo tecnológico sin participación activa del sector público.



## Eric Jardim Cavalcanti

Economista por la UFRJ, pos-graduado en ingeniería de producción, asesor de la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP).

## Introducción

Brasil necesita enfrentar grandes desafíos para fortalecer la competitividad de su economía en los próximos años. La frontera tecnológica del mundo no para de avanzar. Nuevas tendencias en la manufactura presionan a aquellos que producen bienes y servicios. La manufactura avanzada, en especial la manufactura inteligente, aditiva, y los sistemas robóticos son la nueva frontera del conocimiento y del desarrollo.

Brasil – especialmente el sector productivo empresarial – no puede quedar distante de esa nueva frontera. La participación de las exportaciones de productos manufacturados cayó 40% entre 2002 y 2017, y el saldo de la balanza comercial

de manufacturados se volvió muy negativo, especialmente para la importación de bienes de capital y bienes duraderos. Dos tercios de los bienes de capital son importados.

En el centro de este debate está la formación de recursos humanos, en especial el desarrollo de nuevas áreas en física, ingeniería, química, matemática y otros segmentos. Posicionar la producción nacional en lo que hay de más avanzado, con el uso intensivo de tecnologías de la información y de la comunicación, sensores y máquinas inteligentes en el proceso industrial es una cuestión clave para el aumento de la renta y la generación de empleos mejores y más productivos.



Hay demanda potencial, especialmente en tecnologías críticas en las áreas de energía, salud, agricultura y defensa. Precisamos afianzar las iniciativas de manufactura avanzada en sectores donde hay tecnologías críticas para ser incorporadas en los sectores productivos brasileños.

Brasil necesita pensar en manufactura inteligente a partir de estructuras institucionales que usen el concepto de laboratorio abierto, para desarrollar, demostrar y escalar tecnologías aplicadas a proyectos empresariales. También es esencial desarrollar sistemas robóticos autónomos, dirigidos a manufactura remota y aplicada en ambientes industriales, agricultura de precisión y equipamientos especiales. Son innumerables los desafíos y las posibilidades.

En las últimas décadas, la matriz de C&T mundial se hizo más densa y compleja. Hay una interconexión entre áreas de C&T, cambio de escala e intensificación de la producción científica en todos los dominios tecnológicos. La singularidad del paradigma tecnológico de esta matriz mundial, cuando es comparada con paradigmas anteriores, es la estrecha relación entre la base de conocimiento científico y la producción tecnológica. Esta estrecha relación entre ciencia y tecnología explica por qué el avance del conocimiento científico de una nación determina en gran medida su capacidad de innovación tecnológica.

De ahí la actual relación directa entre capacidad de producción de riqueza y liderazgo en C&T. Países considerados líderes en C&T son también potencias económicas con elevados niveles de crecimiento

de la productividad y, por tanto, fuerte crecimiento económico. Presentan matrices cada vez más complejas en ciencia y tecnología.

Brasil presenta poca sintonía con la matriz mundial, pues concentra esfuerzos en áreas más distantes de la frontera, en las cuales las naciones líderes no hacen grandes esfuerzos. Por eso, Brasil mantuvo su posición relativa en la lid tecnológica. No avanzó ni retrocedió, mientras otras economías emergentes de gran y medio porte, como China y Corea, cambiaron su estructura de C&T y nos ultrapasaron.

Desde la segunda mitad de la década de 2000 en adelante, existe un patrón de C&T mundial concentrado en las áreas tecnológicas que dan soporte a una nueva forma de manufacturar productos, como tecnología de la información, biotecnología y electrónica. Brasil tiene una agenda desfasada de investigación, poco estructurada y fuera del foco de la disputa tecnológica. Hay gran diferencia entre la matriz de C&T brasileña, la mundial y la de los países tecnológicamente emergentes.

¿Es posible cambiar esta realidad? ¿Cuáles son las condiciones necesarias? Sólo hay una respuesta para eso: ¡sí, es posible cambiar a Brasil en una generación! Para eso es necesario obtener una concertación entre los principales agentes económicos públicos y privados, apropiarse de soluciones encontradas por otros países y demostrar razonable persistencia.

La concertación entre los principales agentes económicos públicos y privados será el tema más espinoso de las próximas décadas, principalmente por causa de los elevados

## La cultura de la innovación debe estar presente en la formación profesional de los estudiantes, en la actividad científica de los investigadores y en el ambiente interno de las empresas.

gastos fiscales del pasado reciente y de políticas industriales tradicionales activas hace décadas en Brasil.

La distancia que nos separa de las naciones más desarrolladas es grande. ¿Sería posible observar las experiencias de otras economías y usar instrumentos adecuados para acelerar nuestra llegada a la frontera del mundo desarrollado? La respuesta es sí, desde que seamos capaces de asociar actores públicos y privados relevantes desde el punto de vista económico a una base robusta de ciencia y al intercambio de informaciones sobre experiencias que dieran resultado.

Esa coordinación ex-ante va mucho más allá de la idea de que la liberalización y la apertura de la economía producirían automáticamente una convergencia tecnológica entre las naciones. Esta es una visión antigua y equivocada. Desarrollo productivo basado en ciencia, innovación y tecnología exige políticas. Ningún país consiguió aproximarse a la frontera tecnológica sin establecer una estrecha cooperación entre los sectores público y privado. Brasil retrocedió y cometió equivocaciones en su proceso de apertura. La existencia de un ambiente competitivo es funda-

mental para la innovación, pues proteccionismo y aislamiento mantienen la economía y las empresas en sus zonas de confort. Al mismo tiempo, la presencia del Estado es esencial, pues la incertidumbre y el riesgo de ese tipo de inversión necesitan ser compartidos y mitigados para estimular la participación de las empresas.

La dinámica, el ritmo y el tiempo de la producción de CT&I ni siempre son previsible. Por eso el Estado es un actor de peso en todo el mundo. No es por gusto que los países avanzados escogen áreas científicas y definen tecnologías críticas a ser dominadas, colocando recursos públicos para impulsar la innovación. No hay desarrollo tecnológico sin participación activa del sector público.

No existe camino fácil para alcanzar un patrón de desarrollo económico más acelerado. El objetivo de este artículo es abordar los desafíos en tres aspectos especialmente relevantes para Brasil: formación profesional para la innovación, ciencia e innovación en las empresas.

## Formación profesional para la innovación

Brasil presenta una característica dual en la escolaridad de sus ciudadanos y, consecuentemente, en la formación de la capacidad profesional y productiva de ellos. De un lado, se observa un avance en el proceso de universalización de la educación básica y una expansión del acceso al nivel superior. De otro, la calidad de la enseñanza no ha acompañado esa trayectoria, permaneciendo en el mismo escalón o quizás disminuyendo, a despecho

de la ubicación de recursos financieros satisfactorios.

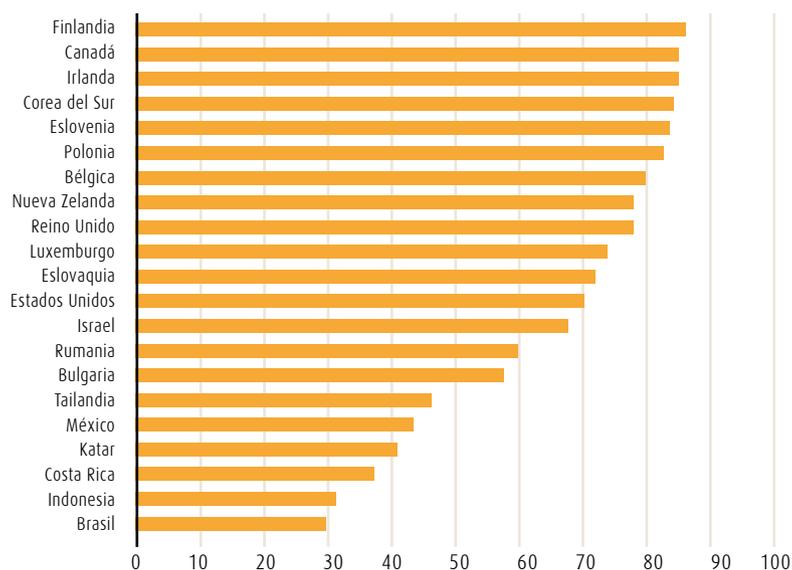
La educación básica brasileña, sobre todo la de la red pública, responsable por más del 80% de los alumnos,<sup>1</sup> presenta niveles de calidad reducidos, que impactan profundamente las condiciones de desarrollo del capital humano requerido para generar innovación y garantizar un crecimiento sustentable de la productividad. Indicadores como el del Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes 2015 (PISA) ayudan a delinear ese cuadro: 91% de los países evaluados presentan desempeño en matemática superior al de Brasil.<sup>2</sup>

El desempeño de Brasil en matemática, en el PISA 2015, es atroz: mientras apenas 30% de los estudiantes brasileños obtuvieron desempeño satisfactorio, más de 70% de los países que participaron del examen registraron por lo menos 50% de estudiantes con desem-

peño satisfactorio (Figura 1). Ese resultado tiene relación directa con las decisiones tomadas por los estudiantes cuando cierran el ciclo de la educación básica. La decisión de seguir carreras del área de humanidades u otras no relacionadas con la matemática y las ciencias exactas es más común entre los estudiantes brasileños, lo que resulta en una reserva insuficiente de profesionales en áreas fundamentales para los procesos de invención e innovación, como ingenierías, física, química y tecnologías de la información, entre otras.

Es usual argumentar que el pifio desempeño del país en exámenes de conocimientos educacionales básicos se debe a la insuficiencia de recursos. Pero los gastos públicos directos con educación crecieron consistentemente a lo largo de los años, como proporción del Producto Interno Bruto (PIB), alcanzando un nivel equivalente a la norma inter-

**Figura 1 | Distribución porcentual de los estudiantes con desempeño adecuado en matemática - PISA 2015**



Fuente: Tafner (2018).

nacional. Aún así, el desempeño de Brasil ha sido inferior, inclusive, al de países que gastan menos.<sup>3</sup>

La evolución de las despendas fue acompañada también de mejoras en la infraestructura física de las escuelas y en aspectos no financieros, como la reducción de capacidades de las salas, por ejemplo. Contrariando las expectativas, sin embargo, esos avances no se reflejaron ni en el desempeño de los estudiantes ni en la productividad del trabajo.

Estudios como el de Hanushek (2013) indican que la calidad de la educación y el entrenamiento de la mano de obra son los factores de mayor impacto en la productividad y en el crecimiento económico. Topel (1999), Glomm y Ravikumar (1992) y Benaïou (1996), a su vez, muestran que hay transferencia de la educación para la productividad y que esos efectos están más asociados a la calidad que a los niveles medios de educación de la población.

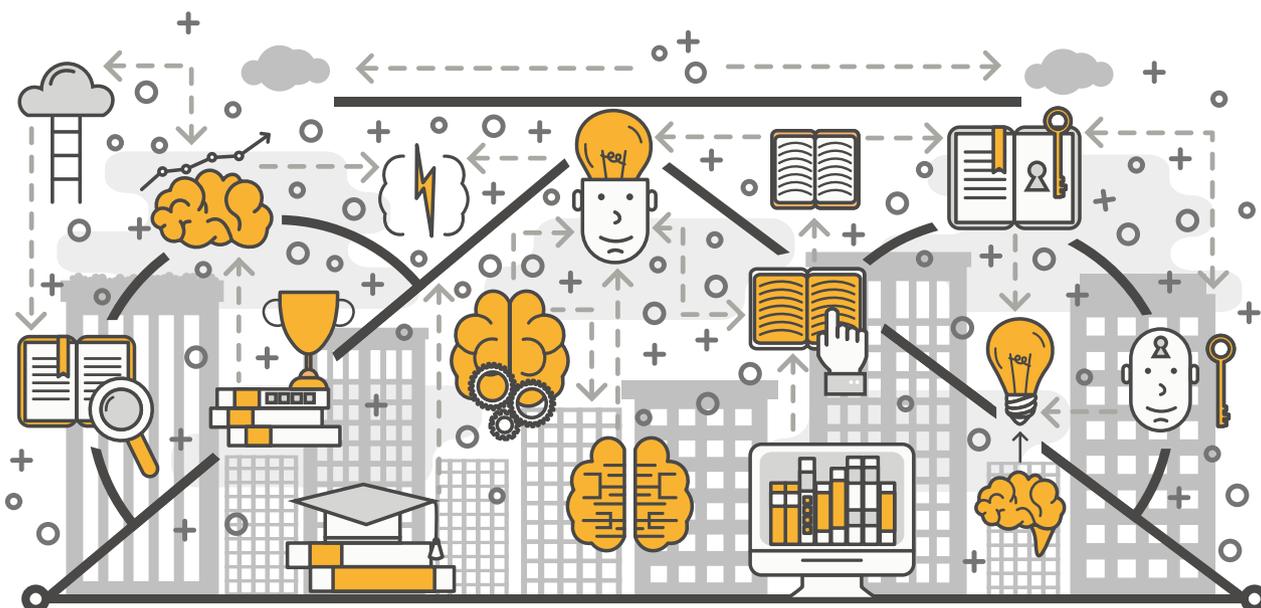
Trabajadores más educados consiguen transmitir efectos consecuen-

tes de su escolaridad para otros trabajadores, por medio de estímulos resultantes de la observación y de la convivencia. A pesar de ello, ese efecto es limitado por el grado de complejidad del proceso productivo y por el background educacional de los individuos. Cuando el proceso incluye alto grado de complejidad tecnológica, la transferencia sólo se hace posible si la mano de obra tiene un nivel educacional propicio para captar los estímulos de manera relativamente homogénea, lo que sólo ocurre cuando ella dispone de una educación de mayor calidad.

La absorción de tecnología en Taiwán, Finlandia, Singapur, Corea del Sur y algunos países bálticos, hasta hace poco, sólo se viabilizó por la calidad de la educación de sus ciudadanos. Esa condición permitió una rápida evolución de la productividad y de la complejidad de los procesos productivos, habiendo sido sustentada por importantes reformas en las instituciones y en el ambiente de negocios. Aunque

no sea la única condición para el desarrollo, capital humano calificado es un factor crítico para que se pueda absorber tecnología.

Según datos de la Investigación Nacional por Muestra de Domicilios (PNAD) 2016, la tasa de escolarización de la población de cero a diecisiete años aumentó en los últimos diez años en prácticamente todos los niveles de la renta. En una década, la escolaridad media pasó de 6,2 años para 8,7 años de estudio. Mientras, no debemos dejarnos engañar por la evolución de los indicadores, pues la velocidad de esa trayectoria aún está distante de la que sería ideal. A ese ritmo, niveles de escolarización satisfactorios sólo serían alcanzados en cerca de medio siglo. Además de eso, los indicadores que miden adecuación edad-nivel y calidad de la educación no acompañaron el movimiento positivo. Los brasileños llegan a tener casi de 30% a menos años de estudio concluidos en relación a lo que es considerado ideal para la edad.



Este diagnóstico evidencia que hay obstáculos para construir una base de capital humano preparada para cambios tecnológicos acelerados. El desarrollo de un perfil productivo dirigido hacia la innovación también parece comprometido por esa estructura, que no contempla los dominios básicos para impulsar el sistema nacional de innovación. Toda base productiva se moldea a esas restricciones, lo que lleva la economía brasileña a converger hacia una realidad poco competitiva.

El sistema de enseñanza superior en Brasil ha evolucionado bastante en los últimos años, acompañando la tendencia que se verifica en todos los países de desarrollo tardío. Hay creciente demanda por profesionales calificados y, consecuentemente, expresivo aumento de la demanda por formación en educación superior o tecnológica. Pero Brasil tiene un historial tardío de desarrollo de las instituciones académicas y de políticas educacionales universales. Las matrículas en los cursos de graduación, por ejemplo, pasaron de 3 millones para 8 millones entre 2001 y 2015, en gran parte como consecuencia de la expansión del sector privado, responsable por recibir, en ese último año, 76% del contingente de alumnos matriculados, conforme datos del INEP compilados por Schwartzman (2018).

La enseñanza superior brasileña es poco diversificada. En las universidades, predomina la oferta de cursos como educación, derecho, administración y otros del área de ciencias humanas, mientras los cursos tecnológicos, las ingenierías y otros en el área de ciencias exactas

## Menos de 1/4 de los alumnos matriculados en cursos superiores en Brasil están inmersos en ambientes que estimulan la innovación. La gran mayoría no tiene la oportunidad de integrar grupos de investigación.

o ciencias naturales aplicadas son ofrecidos en menor escala. Eso no puede ser disociado de las características de esas instituciones (su naturaleza jurídica, forma de gestión de personas y recursos), tampoco de la demanda de los alumnos y del mercado de trabajo.

En términos de producción de investigación científica, las universidades y los institutos de enseñanza superior públicos difieren claramente de las universidades particulares. La mayor parte de la investigación básica y aplicada es realizada en las instituciones públicas, que también son responsables por ofrecer la mayor parte de los cursos de pos-graduación. Así, se percibe una gran discrepancia entre la concentración del número de matrículas y el locus de realización de investigación y de generación de conocimiento nuevo en el país. Menos de 1/4 de los alumnos matriculados en cursos superiores están expuestos a una atmósfera que estimula la novedad y la innovación, teniendo la oportunidad de integrar grupos de investigación o participar de actividades de desarrollo científico y tecnológico en el ambiente académico.

En contrapunto a la estructura de los cursos ofrecidos en las universidades particulares, las universidades públicas concentran, en tér-

minos relativos, las formaciones asociadas a ingenierías, ciencias, matemática, computación, agricultura y veterinaria. Esa condición puede generar restricciones profundas para el aumento de la reserva de capital humano indispensable para el proceso productivo y de innovación.

Aunque de manera no intencional, la sociedad brasileña construyó un proceso de incentivo a las carreras típicas de Estado, creando una cultura de interés por las carreras públicas fuertemente asociadas a procesos fiscalizadores y administrativos. Hay una tendencia a sofocar la iniciativa privada, tanto por el exceso de regulación como por la asunción, por el Estado, de responsabilidades propias de los agentes privados.

La reserva de capital humano que podría fluir para carreras privadas ligadas a tecnología y ciencias aplicadas, pero promotoras de innovación y creatividad productiva, al depararse con mayor potencial de empleo, remuneración y estabilidad en el sector público, tiende a preferir carreras en ese segmento. Aunque el área de estudios de ingeniería, producción y construcción haya mostrado un aumento en su participación relativa reciente, sobre todo en detrimento del área de humanidades y artes, no hubo cam-

bio sustancial en la distribución entre las personas ocupadas por área de estudio y los cursos escogidos por los estudiantes de nivel superior en Brasil.

También es importante llamar la atención, específicamente, para el porcentual de formados en las carreras de ingeniería y en otras carreras científico-técnicas. Las carreras que componen ese grupo abarcan los campos (*fields*) 4 y 5 de la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación 1997 (ISCED 97). La Figura 2, a continuación, ofrece una indicación inicial de la relevancia de esa información en el mundo.

Salerno *et al.* (2014) indican una correlación de casi 70% entre las variables de PIB *per cápita* y participación de profesionales vinculados a ciencia y tecnología en la fuerza de trabajo. Esos autores también realizaron un test estadístico que busca retirar la influencia de variables como grado de desarrollo, seguridad del ambiente de negocios y otras características propias de cada país. Ellos obtuvieron resultados significativamente positivos para la relación entre crecimiento del PIB *per cápita* y proporción de profesionales oriundos de ingenierías y carreras científico-tecnológicas en el total de la fuerza de trabajo del país.

La asociación entre la expansión de la renta *per cápita* y la inserción de esos profesionales en el proceso productivo está directamente relacionada a la capacidad de crecimiento de la economía a largo plazo. Pues son esos individuos los que poseen el conocimiento necesario para implantar la innovación tecnológica, factor preponderante para el creci-

miento sustentable y la expansión de la productividad. Brasil ocupa una posición peor que la de muchos países, lo que indica su incapacidad de expandir una producción más dinámica e innovadora. Revela también que el país es poco atractivo para inversiones internacionales en actividades productivas pero nobles, que requieren el uso de mano de obra más calificada. Poco competitivo en ese punto, Brasil tiende a alejarse de las cadenas globales de valor más sofisticadas.

Las áreas de ingenierías y de ciencias exactas y de la tierra, que corresponden básicamente a las carreras científico-tecnológicas, respondían por casi 25% del total de matriculados en pos-graduación. Cuando se incluyen las áreas de ciencias agrarias, biológicas y de la salud, que se destacan fuertemente en el ámbito productivo y científico en el país, esos porcentuales alcanzan 53,4% del total de pos-graduados.

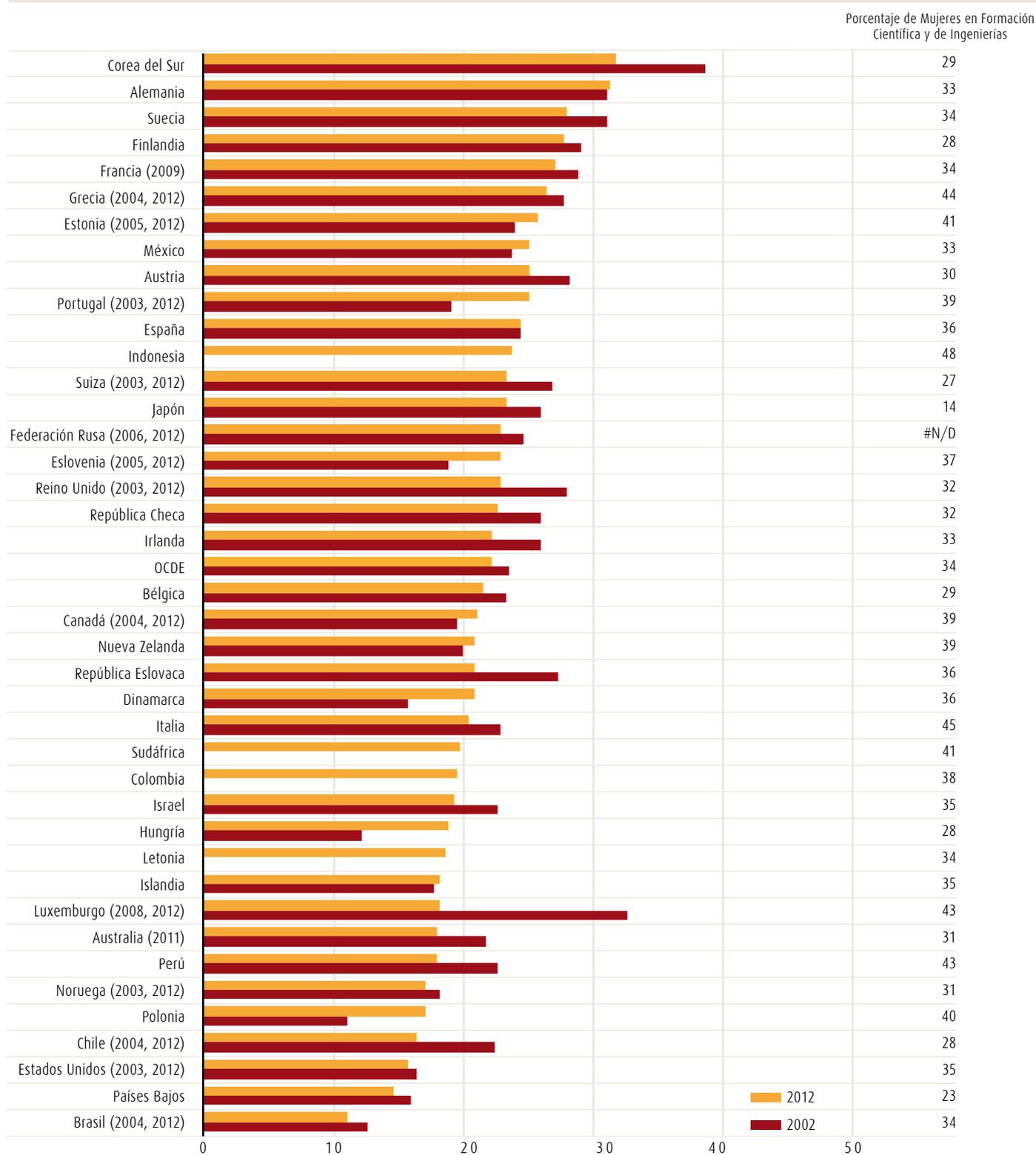
La expansión del número de pos-graduados influye también en la producción académica. Las publicaciones de autores brasileños en revistas internacionales pasaron de 8,6 mil en 1996 para 62 mil en 2009. Ese número equivale a 53% del total registrado para el conjunto de América Latina y a 2,5% de todas las publicaciones en revistas internacionales del mundo. Por otro lado, el número de citaciones de artículos escritos por brasileños en la literatura internacional cayó de 29 para 8,3 entre 2000 y 2010, sugiriendo una caída significativa en la relevancia de las publicaciones.

Se identifica, todavía, relativa dispersión y poca atención en la producción científica brasileña. Datos de 2016 del Ministerio de Cien-

cia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones (MCTIC) muestran que 200 mil investigadores de 37 mil grupos de investigación en 531 instituciones recibieron recursos para desarrollar investigación. Gran parte de esos aportes sirvió para pagar salarios y becas de estudio. Existe una dificultad para direccionar inversiones hacia laboratorios enfocados en actividades de frontera tecnológica y pocos recursos dirigidos al desarrollo de nuevas tecnologías para el sector productivo. Diversos indicadores revelan esa situación. Llama la atención, en particular, el reducido número de patentes registradas y el hecho de que la mayoría de los doctores trabaja en las universidades públicas, lo que demuestra el bajo vínculo de la producción científica con el sector productivo brasileño.

## Ciencia en Brasil

La producción de conocimiento depende de la existencia de un extenso y moderno parque de investigación científica y tecnológica, sin el cual no se alcanzan los requisitos necesarios para el desarrollo económico y productivo. Gran parte de las inversiones en investigación y desarrollo (P&D) realizados en el mundo es oriunda de universidades e instituciones públicas. En Brasil, el sector público fue responsable por casi la mitad de los recursos aplicados en las actividades de P&D en 2014, año en que fueron realizados las mayores inversiones de las últimas décadas, equivalentes a 1,27% del PIB.<sup>4</sup> A despecho de los esfuerzos para inducir inversiones empresariales, la proporción del sector público en las

**Figura 2 | Porcentual de graduados en ingeniería y otras carreras científico-técnicas en el total de graduados, 2002 y 2012**

Fuente: OCDE, disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/888933273567>. Acceso em: 05/10/2018

inversiones en P&D se ha mantenido estable a lo largo de los años.

Trabajo conducido por De Negri y Squeff (2016), con datos obtenidos en 2012, demuestra que 56% de las infraestructuras de investigación representativas en el país tenían menos de veinte años, y más de 70% de las unidades investigadas habían obtenido recursos significativos para inversiones hace menos de cinco años. La distribución espacial de esas infraestructuras coincide con las regiones de mayor dinamismo económico del país, localizándose 57% de ellas en el Sudeste y 23% en el Sur. El área física de esas unidades en las dos principales regiones económicas suma 87% del área física total de las infraestructuras involucradas en el levantamiento.

Las infraestructuras se concentran en las áreas de ingenierías y ciencias exactas y de la tierra, que

responden por 57% de los laboratorios y de otros centros de investigación existentes en el país. Ese dato refleja un divorcio entre la formación de mano de obra científica y la infraestructura disponible para la realización de las actividades científicas y de investigación. Apenas 25% de los matriculados y titulados en pos-graduación son provenientes de esas áreas. La infraestructura dirigida hacia ciencias de la salud, a su vez, representa apenas 6,87% de las infraestructuras de investigación, aunque esta sea el área más fértil en la publicación de artículos científicos en Brasil.

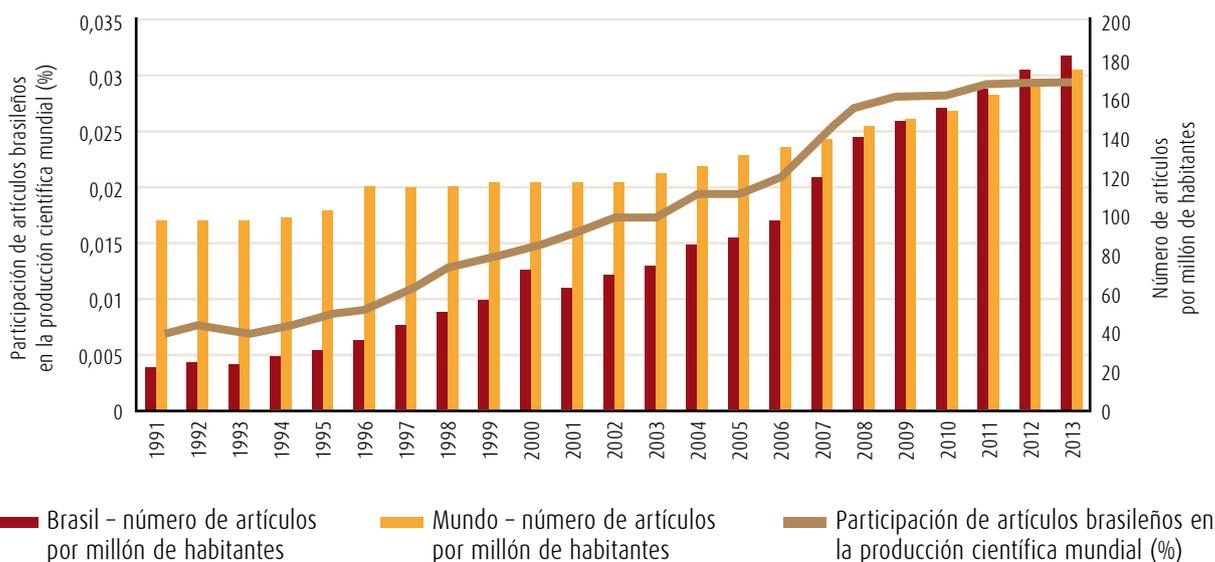
De forma general, la percepción de los coordinadores de las infraestructuras disponibles es que el número de investigadores y su formación aún son poco adecuados a las necesidades del país. Como promedio, hay apenas cuatro investigadores por laboratorio. El número

de usuarios externos atendidos por las infraestructuras también es bajo, predominando la atención dirigida a alumnos de pos-graduación.

A pesar de las inadecuaciones e ineficiencias, las inversiones han producido resultados crecientes y consistentes cuando se observan las métricas de evaluación de la producción científica. La producción científica brasileña cambió de nivel entre 1991 y 2013, pasando de una participación equivalente a 0,7% de la producción científica internacional para un porcentual muy próximo a 3%. El número de artículos por millón de habitantes, a partir de 2010, superó la media mundial, lo que corrobora esa percepción (Figura 3).

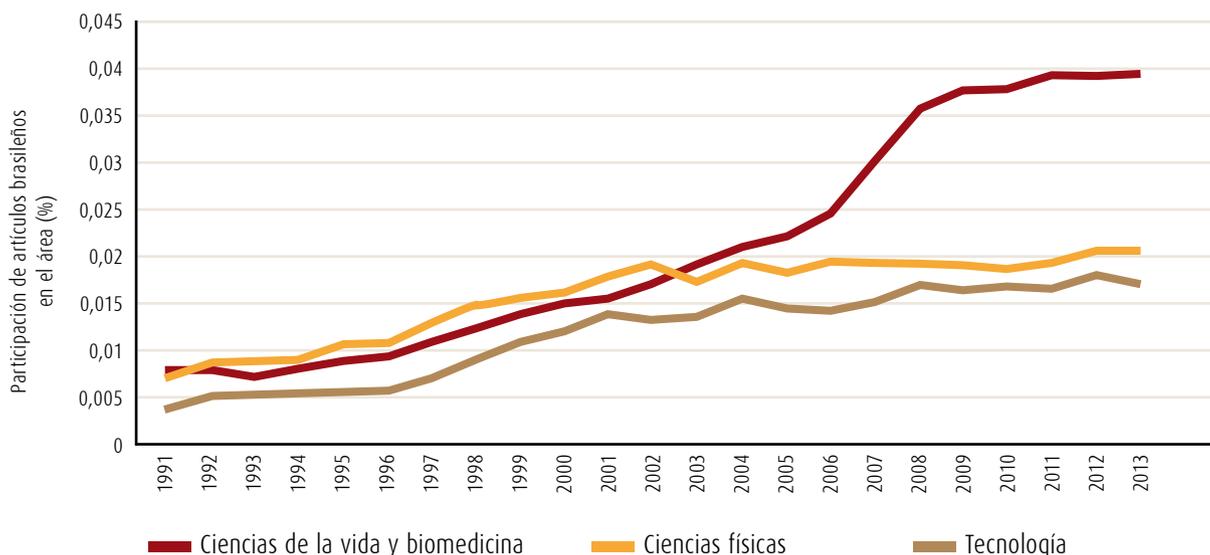
Esa trayectoria corresponde al aumento en el número de publicaciones en las áreas de ciencias de la vida y biomedicina, ciencias físicas y tecnología durante la década de

**Figura 3 | Número de artículos por millón de habitantes (Brasil y el mundo) y participación en la producción científica mundial (Brasil) - 1991 a 2013**



Fuente: Meyer (2016), ISI/Web of Science e World Development Indicators.

**Figura 4 | Participación en la producción científica mundial, por campo del conocimiento del ISI/Web of Science - Brasil (1991 a 2013)**



Fuente: Meyer (2016), ISI/Web of Science e World Development Indicators.

1990. Hubo también un crecimiento del número de artículos en ciencias de la vida y biomedicina en la década de 2000 (Figura 4).

A pesar del salto cuantitativo en el número de publicaciones brasileñas, la relevancia de ellas pareció seguir una dirección contraria. Considerándose el conjunto de artículos publicados, el *ranking* de citas evidencia que el país pasó de la 15ª posición en 1991 para la 24ª posición en 2013. Restringiéndose las evidencias apenas a los artículos de las áreas de ciencias de la vida y biomedicina, en las cuales Brasil posee destaque mundial, la posición en el *ranking* de citas pasó de 12ª para 21ª entre 1991 y 2013.

Zago (2011) alerta para el hecho de que es necesario alterar los patrones de gestión de la producción científica y tecnológica para que haya nuevos saltos cuantitativos y cualitativos. La optimización de la

infraestructura instalada y el fomento a redes con visibilidad internacional, por medio de incentivos al desarrollo de nuevos productos y procesos tecnológicos, son acciones decisivas.

A despecho de los saldos positivos en infraestructura y producción científica y del resultado ambiguo en términos de calidad de la ciencia, todavía existe un nudo que perjudica el desarrollo científico y tecnológico del país. Hay una creciente preocupación en expandir las conexiones entre la producción científica y el sector productivo, pero los últimos años fueron marcados por la disociación entre esas dos dimensiones. Por un lado, la publicación de artículos brasileños en periódicos internacionales indexados al Institute for Scientific Information (ISI) alcanzó el nivel de 250 artículos por millón de habitantes, equivalentes a casi 3% del

**La contracción de la industria y la ausencia de un sector de servicios de alta intensidad tecnológica desestimulan la innovación.**

total mundial. Por otro, la participación del país en las concesiones de patentes del United States Patent and Trademark Office (USPTO) es de apenas 0,1% del total mundial. Esos números evidencian un indeseable divorcio, que precisa ser solucionado, entre la producción científica y la producción tecnológica.

Aparentemente, en todos esos casos las instituciones públicas de investigación, al ser creadas, fueron orientadas hacia una comunidad de usuarios y/o diseñadas para resolver problemas relevantes de determinados sectores de actividad (Mazzoleni y Nelson, 2005). La existencia de demandas claramente definidas por parte del sector productivo parece haber contribuido para que esas iniciativas superasen el “bajo grado de inducción” de las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CT&I), conforme identificado por Guimarães (2002; 2006).

Uno de las grandes diferencias de países desarrollados, como los Estados Unidos, es que la inversión pública en P&D tiene como objetivo resolver problemas concretos de la sociedad. Ya en Brasil, el fo-

mento a la ciencia constituye un fin en sí. Un buen indicador para evaluar las inversiones públicas de un país es medir cuánto de esos valores son aplicados en actividades orientadas por resultados (*mission oriented*). Cuando los valores son aplicados en ministerios específicos, como Energía, Salud y Defensa, los recursos tienden a sustentar actividades de P&D que se dirigen hacia problemas específicos. La aplicación en ministerios horizontales, como Educación y Ciencia y Tecnología (C&T), a su vez, tiende a fomentar actividades más genéricas y con resultados difusos.

La mayor parte de P&D públicos en Brasil no se orienta a resultados. Solamente 30% de los recursos son aplicados en ministerios con misiones específicas, porcentual que alcanza 90% en el caso norteamericano (Figura 5).

La ciencia brasileña también puede promover innovaciones de mayor contenido tecnológico en el mercado, apoyándose en ajustes en el ambiente de negocios en Brasil. Para eso, es importante consolidar y acompañar una agenda de cam-

bios en ese ambiente, identificando las principales normas y regulaciones a ser perfeccionadas, a fin de construir una atmósfera más amigable para empresas y científicos. Es necesario observar la legislación e investigar el funcionamiento de las instituciones, identificando alteraciones dirigidas a desburocratizar, eliminar inseguridades jurídicas y garantizar tratamiento diferenciado para las actividades de C&T. En áreas como las de ciencias de la vida, la ley de la biodiversidad debe ser acompañada y modernizada con frecuencia. De la misma forma, para asegurar actualizaciones adecuadas es relevante acompañar la implantación y regulación del código nacional de C&T.

## Innovación tecnológica en las empresas

En los últimos veinte años, Brasil contó con un conjunto de políticas públicas industriales activas. En el contexto de la Política Industrial, Tecnológica y de Comercio Exterior (PITCE), lanzada en 2003, fueron promulgadas la Ley de Innovación y la Ley del Bien (Ley nº 11.196/05), que dieron los primeros pasos para modernizar el esqueleto jurídico del ambiente de innovación tecnológica brasileño. Después de la PITCE, dos nuevas políticas industriales fueron editadas: la Política de Desarrollo Productivo (PDP), en 2008, y el Plan Brasil Mayor (PBM), en 2010. Adicionalmente, en 2009 fue creado el Plan de Sustentación de la Inversión (PSI), mientras en 2013 fue lanzada la principal iniciativa de innovación tecnológica de la historia del país: el Plan Innova Empresa.

**Figura 5 | Distribución de la inversión pública federal en P&D, Brasil y Estados Unidos – 2015**

Ministerios brasileños	Porcentual del total	Departamentos y agencias norteamericanas	Porcentual del total
MEC	35,8	Defensa (DoD)	47,9
MCTIC	32,9	Salud (HHS)	21,9
Agricultura	17,5	Energía (DoE)	10,4
Salud	10,1	NASA	8,3
Defensa	1,3	Fundación Nacional de Ciencias (NSF)	4,3
Comunicaciones	1,2	Agricultura (USDA)	1,8
Otros	1,2	Otros	5,4

Fuente: De Negri; Rauen, Squeff (2017).

Aún disponiendo de los nuevos instrumentos originados a partir de la Ley de Innovación y de la Ley del Bien y de mayores volúmenes de recursos ubicados en los Fondos Sectoriales (creados en 1998), la actuación del sector financiero público a favor de la innovación tuvo como principal actor a la FINEP, que apoyó, entre 1998 y 2012, a poco más de mil empresas. El BNDES también ejecutó acciones y programas de apoyo a la innovación.

Actualmente, el país dispone de innumerables instrumentos de fomento a actividades de innovación tecnológica que también son ofrecidos en la mayor parte de los países desarrollados: crédito subsidiado, incentivos fiscales, subvención para empresas, subvención para proyectos de investigación en universidades e ICTs, entre otros. La Figura 6 sintetiza las principales intervencio-

nes públicas para estimular la innovación tecnológica en el país.

Esas son las principales fuentes de recursos para soporte a la innovación y a la P&D en Brasil, independientemente de su origen. Sin embargo, son iniciativas apenas por el lado de la oferta y/o producción. Muchos de los recursos son estrictamente públicos, mientras otros no son recursos presupuestarios, teniendo origen en fondos parafiscales u otras fuentes. La tabla no muestra otros subsidios indirectos, implícitos o explícitos, como la ecualización de tasas de interés o el diferencial del costo de captación de los recursos, además de la tasa cobrada al agente final para operación de programas por la FINEP y por el BNDES.

De acuerdo con las estadísticas de la Investigación de Innovación Tecnológica (PINTEC) del Instituto Brasileño de Geografía y Es-

tadística (IBGE) para el año de 2014, se observa que, entre 2003 y 2014, creció de 19% para más de 40% el total de empresas que declararon haber recibido algún soporte público para innovar. Ese resultado ya incluye las primeras señales efecto de las políticas ejecutadas por el Innova Empresa. A pesar de eso, la mayor parte del apoyo público para la innovación en las empresas estuvo asociado al financiamiento de la compra de máquinas y equipamientos. En el concepto de innovación del Manual de Oslo, la adquisición de maquinaria productiva más moderna y sofisticada, en sustitución de la maquinaria ultrapasada, constituye innovación de proceso. Cerca de 75% de las empresas que recibieron apoyo público para innovar realizaron actualización en procesos. Considerando los aportes públicos dirigidos espe-

**Figura 6 | Principales políticas o instrumentos federales de apoyo a la tecnología y a la innovación productiva en Brasil, 2015 (último año disponible)**

Políticas	Instrumentos	Valores en reales corrientes de 2015
Exoneración fiscal <sup>(1)</sup>	Ley de informática (Leyes n° 8.248/1991, n° 10.176/2001 y Ley n° 11.077/04)	5.020.550.362
	Ley del Bien (Ley n° 11.196/2005)	1.826.446.366
	Gastos empresariales en P&D (Ley n° 4.506/64 y Decreto n° 756/69)	1.317.415.079
	PD&I en el sector automotriz (Ley n° 12.715/12 y Decreto n° 7.819/12)	646.081.930
	Otras exoneraciones <sup>(2)</sup>	818.355.571
Crédito subsidiado para la innovación (desembolsos)	Operado por la FINEP	2.603.000.000
	Operado por el BNDES <sup>(3)</sup>	4.501.000.000
P&D obligatorio de sectores regulados	P&D ANEEL	395.200,00 <sup>(4)</sup>
	P&D ANP	1.030.956.397

(1) Estimados hechos por la Receta Federal de Brasil. Disponible en: [https://idg.receita.fazenda.gov.br/dados/receitadata/renuncia-fiscal/demonstrativos-dos-gastos-tributarios/dgt-versao-para-republicacao\\_02-06-2016.pdf](https://idg.receita.fazenda.gov.br/dados/receitadata/renuncia-fiscal/demonstrativos-dos-gastos-tributarios/dgt-versao-para-republicacao_02-06-2016.pdf). Acceso el 23/11/2016. (2) Entidades científicas sin fines lucrativos, máquinas y equipamientos - CNPQ, PADIS, PATVD, investigaciones científicas - AFRMM y TI y TIC. (3) Excluidos los valores repasados para la FINEP. (4) Datos de 2012 extraídos de CGEE (2015).



el sistema productivo. Así, caso una empresa modernice su parque fabril, ese esfuerzo es contabilizado como innovación de proceso, aunque sea mantenida la producción de los mismos bienes, usando el mismo tipo de insumos.

Las tasas de innovación de las empresas investigadas por la PINTEC no han presentado grandes avances, rondando entre 31% y 36% a lo largo de todo el período en análisis, con excepción de 2008, cuando alcanzó la marca de casi 39%. En los años de 2006 a 2008, que precedieron a la crisis internacional, la actividad económica en Brasil registró un acelerado crecimiento, exhibiendo una tasa media superior a 4% a.a. Entre la edición de 2008 y la edición más reciente de la PINTEC, sin embargo, la tasa de innovación decreció de 38,61% para 35,99%. Cuando son considerados apenas los datos de la industria, la amplitud de la caída fue ligeramen-

te menor: de 38,1%, entre 2006-2008, para 36,4%, entre 2012-2014.

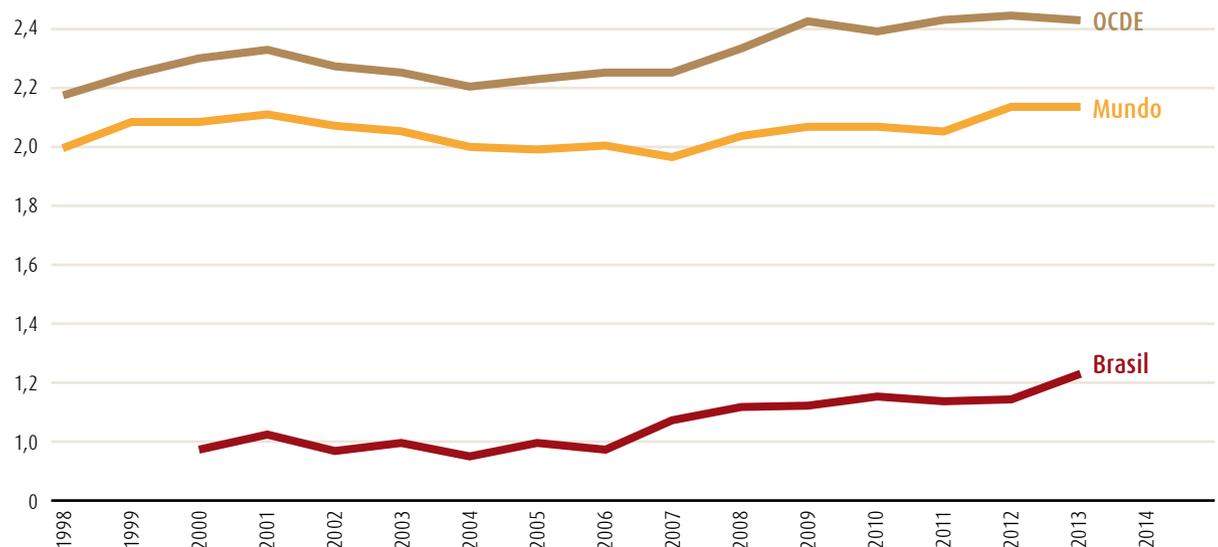
Además de eso, las empresas brasileñas que más invirtieron en intangibles de innovación y perfeccionamiento tecnológico aún están en escalones más bajos que los de sus congéneres en países desarrollados. El gasto con activos intangibles de las firmas brasileñas se situó en torno de 4% entre 2000 y 2008, número bastante inferior al de países como Japón, Reino Unido y Estados Unidos, similar al de países como Italia y España. El diferencial de la inversión en activos intangibles entre firmas brasileñas y norteamericanas es mayor en competencias como P&D, gobernanza empresarial y valor de marca. Las firmas norte-americanas gastan hasta diez veces más en gobernanza, tres veces más en valor de marca y cuatro veces más en P&D. De acuerdo con Dutz et al. (2012), la diferencia con las econo-

mías de la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) también es grande para otros tipos de activos innovadores no tecnológicos, en particular gastos con design de arquitectura e ingeniería.

La inversión en P&D crece en Brasil en tasas inferiores a las de los países avanzados y a un ritmo menor de la media mundial. Sin embargo, en los últimos años pasó por un proceso de expansión, cuyo análisis requiere algún cuidado. Aunque la base agregada de gastos haya registrado cierta elevación, la expansión del índice no puede ser integralmente atribuida a una aceleración del aumento de los gastos en actividades innovadoras, pues el PIB permaneció detenido o decreció.

En valores nominales, los gastos en P&D en Brasil han aumentado consistentemente. Cuando son comparados con las rentas de las empresas, tales gastos también han

**Figura 7 | Inversión en investigación y desarrollo como porcentual del PIB, 1998-2014 - Brasil comparado con la OCDE y el mundo**



Fuente: Banco Mundial. Disponible en: [goo.gl/GeQHvh](http://goo.gl/GeQHvh). Acceso el 05/10/2018.

presentado significativa expansión, aumentando 36,59% en el período 2000–2014 y pasando de 0,75% para 1,03% de la renta líquida de las empresas. Pero esa relación es decreciente si consideramos los gastos totales con actividades innovadoras. Los gastos con otras actividades de ese tipo, no directamente aplicadas a P&D, decayeron de 3,09% para 1,46% de la renta de las empresas entre 2000 y 2014. Con eso, los gastos totales con actividades innovadoras (incluyendo los gastos con P&D interno y externo) en relación a la renta líquida de las empresas cayeron de 3,84% para 2,49% en los catorce años alcanzados por la PINTEC.

Para ganar competitividad a largo plazo, las empresas necesitan desarrollar capacidad para generar innovación tecnológica de frontera. Adoptar conocimiento existente no es una acción suficiente para producir ganancias consistentes de productividad. Tanto la incorporación de tecnología desarrollada por otros como la generación de tecnología propia de frontera requieren cierto grado de desarrollo del capital humano, así como competencias de infraestructura y aprendizaje acumulado. En gran medida, eso resulta de procesos sistemáticos de innovación y de actividades de P&D.

Aunque Brasil haya ampliado el nivel de gastos en actividades de P&D en los últimos años, aún estamos muy atrás de países de frontera. Fuimos ultrapasados por países que recientemente estaban en escalones inferiores o que partieron de un nivel de desarrollo equivalente al nuestro en el siglo XX. Ese aumento de los gastos en P&D procedió, sobre

todo, de la expansión de gastos públicos, incluyendo recursos dirigidos hacia universidades, institutos públicos de investigación y tecnología, capacitación de capital humano y creación de infraestructura para investigación. Como resultado, la tasa de investigadores ocupados en P&D ha presentado una tendencia de crecimiento, aparentemente a un ritmo mayor que el de la tasa de crecimiento de los gastos en actividades innovadoras.

En términos de inversión empresarial privada en P&D, Brasil está muy por debajo de la media de los países más desarrollados. En este grupo, la proporción de inversiones privadas en el total de gastos en P&D rondaba 70% en 2014. Mientras tanto, en Brasil esa misma proporción se situaba en torno de 40%, nivel inferior a los 44% registrados en 2000. Por tanto, gran parte de la expansión de los recursos en P&D y actividades innovadoras observada en Brasil en los últimos años fueron consecuencia de las inversiones públicas.

## Reflexiones sobre el ambiente de innovación

El país ha emprendido esfuerzos crecientes a favor de la innovación, pero los resultados no han sido proporcionales a los estímulos. Algunas estrategias se han mostrado exitosas, sobre todo en sectores como la agricultura – que contó con fuertes incentivos y recursos públicos en el desarrollo de tecnologías – y en industrias estratégicas, como aeronáutica y de energías renovables. Además de eso, hubo considerables mejoras en entrenamiento y desarrollo de recursos humanos en

C&T. A pesar de esas experiencias, el sector privado brasileño aún no se insiere adecuadamente en un proceso sistemático de innovación y transformación tecnológica. La intensidad de P&D y la tasa de adopción de tecnologías por las empresas brasileñas todavía están muy por debajo de los niveles considerados satisfactorios en el ambiente mundial contemporáneo.

En los últimos años, el apoyo público para la CT&I creció. Sin embargo, la inversión pública en C&T en Brasil, sobre todo en universidades y otras entidades públicas, es hasta ocho veces mayor que los recursos destinados para innovación en las empresas privadas. Aún así, diferentemente de Corea del Sur, por ejemplo, cuyo proceso desde el inicio se basó en un sistema de movimiento a largo plazo de la responsabilidad pública hacia la particular, existe un limitado aprovechamiento del desarrollo tecnológico realizado por los entes públicos. Es frágil el sistema de transbordo e interconexión entre esos agentes y la iniciativa privada.

Al lado de esas características relacionadas con los agentes del sistema de CT&I en el país, también hay aspectos exógenos relacionados con cuestiones regulatorias y de gestión. Entre todos los aspectos que impiden el desarrollo del sistema de CT&I nacional, cinco merecen particular atención: (i) reglamentación y ambiente de negocios; (ii) investigación científica pública y colaboración con P&D del sector privado; (iii) efectividad de innovación realizada por las firmas; (iv) coordinación de políticas públicas; (v) evaluación y revisión de políticas públicas. ■

## Notas

1. INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EDUCACIONALES ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopsis Estadística de la Educación Básica 2016. Brasília: Inep, 2017. Disponible en: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acceso el 05/10/2018.
2. Brasil obtuvo la 67ª posición en el ranking con 72 países participantes en la edición PISA 2015.
3. Según Datos de la OCDE, en 2013, Brasil gastaba 4,1% del PIB en educación y su ranking en el PISA 2015 en matemática fue de 67º, mientras México (3,9%), Polonia (3,4%), Chile (3,1%), gastaban menos que Brasil en educación en proporción del PIB y sus posiciones en el ranking PISA 2015 para matemática fueron 57º, 49º y 17º, respectivamente. Datos disponibles en: <https://data.oecd.org/eduresource/public-spending-on-education.htm#indicator-chart> Acceso el 05/10/2018
4. Disponible en: [http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/recursos\\_aplicados/indicadores\\_consolidados/2\\_1\\_3.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/recursos_aplicados/indicadores_consolidados/2_1_3.html). Acceso el 01/10/2018.
5. Datos pormenorizados sobre la realidad de la innovación tecnológica, P&D y otros aspectos de la estructura productiva brasileña son presentados más adelante.

## Referencias bibliográficas

- ALBUQUERQUE, E. "Immature systems of innovation: introductory notes about a comparison between South Africa, India, Mexico and Brazil based on science and technology statistics". In: *Globalics Conference: Innovation Systems and Development Strategies for the Third Millennium, 1, 2003, Rio de Janeiro. Anais...* Rio de Janeiro: Globalics, 2003.
- ALEM, A.C.; CAVALCANTI, C.E.S. "BNDES y el apoyo a la internacionalización de las empresas brasileñas: algunas reflexiones". *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 24, 2005.
- ARAÚJO, B. C.; RAUEN, A. T.; ZUCOLOTO, G. "Impactos de la suspensión de los incentivos fiscales previstos por la Ley del Bien sobre la inversión privada en PD&I". *Radar*, n. 44. Brasília: Ipea, 2016.
- ARCURI, M. *Políticas de CT&I y financiamiento público a la infraestructura de C&T: comparaciones internacionales y mapa de la infraestructura nacional*. Ipea, 2016.
- ATSUMI, S.; VILLELA, L.; FREITAS, J. "Estrategias de internacionalización de empresas brasileñas: el proceso de inversión externo directo". *Encuentro de Estudios en Estrategia-3Es/Anpad*, 2007.
- BANCO CENTRAL DE BRASIL. "Capitales brasileños en el exterior, 2016". Disponible en: <http://www4.bcb.gov.br/rex/CBE/Port/ResultadoCBE2015p.pdf> Acceso el 05/10/2017.
- BARROS, R.; MENDONÇA, R. "El impacto de tres innovaciones institucionales en la educación brasileña". *Texto de Discusión* n° 566. Ipea. Rio de Janeiro. 1998
- BENABOU, R. "Heterogeneity, Stratification, and Growth: Macroeconomic Implications of Community Structure and School Finance", *American Economic Review* 86:584-609, 1996
- BÉNASSY QUÉRÉ, A. ; COUPET, M.; MAYER, T. "Institutional determinants of foreign direct investment". *The World Economy*, v. 30, n. 5, p. 764-782, 2007.
- BLONIGEN, B. A. "A review of the empirical literature on FDI determinants". *Atlantic Economic Journal*, v. 33, n. 4, p. 383-403, 2005.
- BNDES. *Relatório Anual 2015*. Rio de Janeiro, 2016.
- CANTWELL, J. "Location and the Multinational Enterprise". *Journal of International Business Studies*, v. 40, n. 1, p. 35-41, 2009.
- CANUTO, O. FLEISCHHAKER, C. e SCHELLEKENS, P. "El curioso caso de la falta de apertura de Brasil al comercio". *Revista Brasileira de Comercio Exterior*, n. 122 - Enero/ Marzo de 2015. Rio de Janeiro, Funcex.
- CASEIRO, L.C.Z. "Nuevas estrategias de internacionalización de empresas brasileñas: expansión geográfica, determinantes y alternativas de política industrial". Tesis de Doctorado. Universidad de São Paulo, 2013.
- CASTRO, C.; SOARES, G.. 1986. "Las evaluaciones de Capes". In: *Investigación universitaria en cuestión*, Simon Schwartzman y Cláudio de Moura Castro (orgs), 173-229. São Paulo: Editora de la Unicamp.
- CENTRO DE GESTIÓN Y ESTUDIOS ESTRATÉGICOS. "Sugerencias de perfeccionamiento al modelo de fomento a la PD&I del sector eléctrico brasileño: programa de P&D regulado por la Aneel". Brasília: CGEE, 2015.
- CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA. "Internacionalización de las empresas brasileñas: motivaciones, barreras y demandas de políticas públicas". Confederación Nacional de la Industria. Brasília, 2012.
- DEMIRHAN, E. "Determinants of Foreign Direct Investment Flows to Developing Countries: a Cross-Sectional analysis". *Prague Economic Papers*, v. 4, n. 4, p. 356-369, 2008.
- DA SILVA, D.P.R. El gobierno brasileño y la internacionalización de empresas". *Coyuntura Internacional. Escenarios PUC Minas*. Texto informativo. Disponible en: [http://www.pucminas.br/imagdb/conjuntura/CNO\\_ARQ\\_NOTIC20100920143702.pdf](http://www.pucminas.br/imagdb/conjuntura/CNO_ARQ_NOTIC20100920143702.pdf)

- DE NEGRI, J.A.; SALERNO, M. *Innovaciones, patrones tecnológicos y desempeño de las firmas industriales brasileñas*. 2005.
- DE NEGRI, J. A. *et al.* "Financiamiento del desarrollo". In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Orgs.). *Desafíos de la Nación: artículos de apoyo*. Brasília: Ipea, 2018.
- DE NEGRI, F. "Innovación y productividad: por una renovada agenda de políticas públicas". *Boletín Radar* n. 42. Brasília: IPEA, 2015.
- DE NEGRI, F. "Por una nueva generación de políticas de innovación en Brasil". In: Turchi, L. y J. M. Morais (orgs.). *Políticas de apoyo a la innovación tecnológica en Brasil: avances recientes y desafíos para el futuro*. Brasília: Ipea, 2017.
- DE NEGRI, F.; ZUCOLOTO, G.; SQUEFF, F.; RAUEN, A. T. "Innovación en Brasil: crecimiento marginal en el período reciente: análisis de los datos de la PINTEC 2014". Nota Técnica Diset, n. 34. Brasília: Ipea. 2016.
- DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L.R. *Productividad en Brasil: desempeño y determinantes*. v. 1. Brasília: ABDI/IPEA, 2014.
- DE NEGRI, J. A.; CAVALCANTE, E.J. *La importancia del apoyo a la internacionalización de empresas brasileñas*. CNI. 2016.
- DE NEGRI, F.; SQUEFF, F.H.S. *Sistemas sectoriales de innovación e infraestructura de investigación en Brasil*. Brasília: Ipea, 2016.
- DE NEGRI, F.; RAUEN, A. T.; SQUEFF, F. H. "Ciencia, innovación y productividad: por una nueva generación de políticas públicas". In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (orgs.). *Desafíos de la nación: artículos de apoyo*. Brasília: Ipea, 2018.
- DUTZ, M. A., KANNEBLEY, S., SCARPELLI, M.; SHARMA, S. *Measuring Intangible Assets in an Emerging Market Economy: An Application to Brazil*. 2012
- FAZAL, S.; SAZALI, A.W. *A Review on Technology Transfer in Context of Multinational Corporations*. 2014.
- FERMAN, B. "Cuotas en el proceso de admisión de universidades: efectos sobre la proeficiencia de alumnos de la enseñanza media". Tesis de Maestría, Departamento de Economía, Universidad Católica de Rio de Janeiro. 2006
- FINEP. *Informe de gestión del ejercicio 2015*. Rio de Janeiro, mayo de 2016.
- GLOMM, G.; RAVIKUMAR, B. "Public vs. Private Investment in Human Capital: Endogenous Growth and Income Inequality", *Journal of Political Economy*, 100:818-834, 1992
- GOMES, D. M. "Escasez de crédito bancario en Brasil: comparación internacional y evidencia reciente". Abr. 2009.
- GOLDFAJN, I. "Panel projeto spread bancario". Brasília, 2017.
- GUSSO, D.A.; NASCIMENTO, P. A. Meyer M. "Evolución de la formación de ingenieros y profesionales técnico-científicos en Brasil entre 2000 y 2012". Texto para discusión, Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA), 2014.
- HANUSHEK, E. *Economic Growth in Developing Countries: The Role of Human Capital*. Stanford University. 2013.
- HILAL, A.; HEMAIS, C. A. "El proceso de internacionalización en la óptica de la escuela nórdica: evidencias empíricas en empresas brasileñas". *Revista de Administración Contemporánea*, v. 7, n. 1, p. 109-124, 2003.
- HIRATUKA, C.; SARTI, F. "Inversión directa e internacionalización de empresas brasileñas en el período reciente". Texto para Discusión, Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA), 2011.
- Instituto Brasileño de Geografía y Estadística. "Investigación de Innovación Tecnológica (PINTEC)", Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileño de Geografía y Estadística. "Investigación de Innovación: 2014". Rio de Janeiro: Coordinación de Industria. 2016.
- Instituto Nacional de Estudios e Investigações Educacionais Anísio Teixeira. "Sinopsis Estadística de la Educación Básica 2016". Brasília: Inep, 2017. Disponible en: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acceso el 05/10/2017.
- KOELLER, P.; VIOTTI, R.; RAUEN, A T. "Dispendios del gobierno federal en C&T y P&D: esfuerzos y perspectivas recientes". *Radar*, n.48. Brasília: IPEA, 2016
- KRUGMAN, P. R. *The age of diminished expectations: US economic policy in the 1990s*. MIT Press, 1997.
- LEMONS, M. B. *et al.* *Fondos sectoriales y sistema nacional de innovación: una evaluación exploratoria*. Brasília: Ipea; UFMG, 2009.
- \_\_\_\_\_. *Contribución de los fondos sectoriales para el cambio en la base tecnológica del país*. Brasília: Ipea; UFMG, 2010.
- LIPSEY, R. E. *Foreign Direct Investment and the Operations of Multinational Firms: Concepts, History, and Data*. National Bureau of Economic Research, 2001.
- MACIENTE, A. N.; ARAÚJO, T.C. *La demanda de ingenieros y profesionales afines en el mercado de trabajo formal*. 2011.
- MARTINS, B.; VIANA, C. "Agenda de Estudios sobre Crédito en Brasil". In: Seminario Financiamiento de las Empresas y de la Inversión en Brasil. Rio de Janeiro, 2017.
- MEYER, P. "Áreas de mayor especialización científica de Brasil e identificación de sus actuales instituciones líderes". In: DE NEGRI, Fernanda; SQUEFF, FHS. *Sistemas sectoriales de innovación e infraestructura de investigación en Brasil*. Brasília: Ipea, 2016.
- MORGERA, E. *OECD Guidelines for Multinational Enterprises. The Handbook of Transnational Governance: Institutions and Innuevations*, p. 314, 2011.
- NARULA, R.; ZANFEI, A. *Globalisation of innuevation*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- NARULA, R.; GUIMÓN, J. "The Contribution of Multinational Enterprises to the Upgrading of National Innuevation Systems in the EU New Member States: Policy Implications". In: Global Forum on International Investment Conference, OECD, Paris. 2009.

- NASCIMENTO, P. A. M.; VERHINE, R. E. “Consideraciones sobre la inversión pública en educación superior en Brasil”. In *Radar*. Brasília: IPEA, 2017.
- OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. Community Innovation Surveys (CIS), Paris.
- Organization for Economic Cooperation and Development. “Education at a Glance: ISCED-97. Financial and human resources investment in education”. *OECD Education Statistics (database)*. 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/data-00750-en>. Acceso el 05/10/2017
- PEDROSA, R.H.L.; CHEIMOVICH, H. 2015. “Brazil”. In: *Unesco Science Report: Towards 2030*, 211-229. Paris: Unesco Publishing.
- PROZCZINSKI, D.; STEINBRUCH, A. M. *Los obstáculos a la internacionalización de empresas innovadoras y el papel de los ambientes de innovación en Brasil*. 2014
- RAUEN, A. T (org.). *Políticas de Innovación por el lado de la demanda en Brasil*. Brasília: Ipea, 2017.
- RAUEN, A.T. “Mapa de las compras federales de P&D según uso de la Ley de Innovación en el período 2010-2015”. In: RAUEN, A. T (org.). *Políticas de innovación por el lado de la demanda en Brasil*. Brasília: Ipea, 2017.
- ROCCA, C. “Financiamiento de las empresas y de la inversión en Brasil”. In: Seminario Financiamiento de las Empresas y de la Inversión en Brasil. Rio de Janeiro, 2017.
- SALERNO, M. S. et al. “Una propuesta de sistematización del debate sobre falta de ingenieros en Brasil”. 2014.
- SCHWARTZMAN, S. “The Leading Latin American Universities and Their Contribution to Sustainable Development in the Region.” In *University and Development in Latin America Successful Experiences of Research Centers*, Simon Schwartzman (org.), 5-20, 2008
- SCHWARTZMAN, S. “Masificación, equidad y calidad – los retos de la educación superior en Brasil – Análisis del período 2009-2013.” In: *Políticas de Educación Superior en Iberoamérica, 2009-2013*, José Joaquín Brunner y Cristóbal Villalobos (org.), 199-243. Santiago: Ediciones Universidad Diego Portales, 2014
- SCHWARTZMAN, S. “Perspectivas para la educación superior en Brasil”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (orgs.). *Desafíos de la nación*. Brasília: Ipea, 2018.
- SHIMABUKURO, M.; ESTENDER, A. C.; GALVÃO, M. *Gestión de negocios y la internacionalización de empresas*. 2014
- SILVA, N.; ZILBERMAN, E. “Restricciones financieras y el PIB per cápita en Brasil”. Mimeo, 2016a.
- \_\_\_\_\_. “Impactos macroeconómicos de la expansión del crédito en Brasil: el período 2001-2011”. 44º Encuentro Nacional de Economía - Anpec, Foz do Iguaçu, 2016b.
- SÓNMEZ, A. “Multinational Companies, Knowledge and Technology Transfer: Turkey’s Automotive Industry in Focus”. *Springer Science & Business Media*, 2013.
- SQUEFF, F. “El poder de compra gubernamental como instrumento de desarrollo tecnológico: análisis del caso brasileño”. *Texto para Discusión*, n. 1922. Brasília: Ipea. 2014.
- SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. M. “La interacción universidades y empresas en perspectiva histórica en Brasil”. In: SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. M.; CARRIO, S. A. F. (orgs.). *En busca de la innovación: interacción universidad-empresa en Brasil*. Belo Horizonte: Auténtica Editora, 2011.
- TACHIBANA, T. Y.; FILHO, N.M; KOMATSU, B. “Enseñanza superior en Brasil”. In *Policy Papers*. São Paulo: Insper Centro de Políticas Públicas. 2015.
- TAFNER, P. “Educación básica en Brasil: evolución reciente, fragilidades, impases y desafíos”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Orgs.). *Desafíos de la nación: artículos de apoyo*. Brasília: Ipea, 2018.
- TEIXEIRA, C. F. S.; COELHO, M. T. A. D.; ROCHA, M. N. D. “Bachillerato interdisciplinario: una propuesta innovadora en la educación superior de salud en Brasil”. 2013.
- THE ATLAS OF ECONOMIC COMPLEXITY, Center for International Development at Harvard University. 2017, Disponible en: <http://www.atlas.cid.harvard.edu>. Acceso el 05/10/2017
- TE VELDE, D. W. “Foreign direct investment and development: an historical perspective”. Background Paper for World Economic and Social Survey for, 2006.
- TOPEL, R. “Labor Markets and Economic Growth.” In: *Handbook of Labor Economics*, Orley Ashenfelter e David Card (orgs), v. 3C, Capítulo 44: 2943-2984, Elsevier, 1999.
- WALTENBERG, F. D.; CARVALHO, M. “¿Cuotas aumentan la diversidad de los estudiantes sin comprometer el desempeño?” *Señales Sociales* 7 (20):36-77. 2012.
- WALSH, J P.; YU, J. *Determinants of Foreign Direct Investment: A Sectoral and Institutional Approach*. 2010.
- WOOD JR, T.; P CALDAS, M. “Empresas brasileñas y el desafío de la competitividad”. *Revista de Administración de Empresas*, v. 47, n. 3, p. 1-13, 2007.
- ZAGO, M. A. “Evolución y perfil de la producción científica brasileña”. In: SENNES, R. U.; BRITTO FILHO, A. (orgs.). *Innovaciones tecnológicas en Brasil: desempeño, políticas y potencial*. São Paulo: Cultura Académica, 2011.
- ZUNIGA, P., DE NEGRI, F., DUTZ, M. A., PILAT, D., RAUEN, A. “Conditions for Innovation in Brazil: A Review of Key Issues and Policy Challenges”. Discussion Paper 218. Brasília: Ipea. 2016.
- XAVIER, A. N.; TUROLA, F. “La internacionalización de la empresa brasileña: la literatura y algunos hechos estilizados”. Anales del IV Ciclo de Debates EITT, del Grupo de Estudios en Economía Industrial, Trabajo y Tecnología del Programa de Estudios Pos-Graduados en Economía Política de la PUC-SP. São Paulo, v. 24, 2006.

# Avances de las últimas décadas y desafíos para el futuro

En los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación de los países desarrollados, los gobiernos definen las estrategias y las políticas, la academia forma recursos humanos y genera conocimiento, y las empresas realizan innovación tecnológica intensiva, creando nuevos productos y nuevos procesos. A lo largo de la historia, Brasil se atrasó mucho, pero ya cuenta con gran acervo de experiencias en políticas de C,T&I. Construimos la mayor y más calificada comunidad científica y tecnológica de América Latina, con más de 120 mil investigadores con doctorado, y obtuvimos éxito en importantes áreas. No podemos retroceder.



## Sergio Machado Rezende

Profesor titular emérito de la Universidad Federal de Pernambuco. Doctor por el Massachusetts Institute of Technology, fue secretario de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Pernambuco en 1995-1998, en el gobierno de Miguel Arraes, y ministro de Ciencia y Tecnología en 2005-2010, en el gobierno de Luiz Inácio Lula da Silva.

## Ciencia y tecnología: motores de la prosperidad

En estos tiempos en que los Estados Unidos, respaldados por el poderío militar y la riqueza económica, imponen al mundo sus caprichos belicosos y comerciales, Brasil prácticamente no tiene voz en el escenario internacional. Es clara la diferencia en la prosperidad de las dos naciones. Cabe indagar: ¿por qué dos países con áreas y recursos naturales comparables, descubiertos y colonizados en la misma época por europeos, llegaron al tercer milenio con tamaña discrepancia en riquezas y en condiciones de vida de sus poblaciones?

Son muchas las razones. Una de las más importantes es la capacidad de producir ciencia y dominar tecnologías sofisticadas, que los americanos tienen y nosotros no. Parcela considerable de nuestra sociedad conoce este hecho, pero no comprende bien lo que esto representa. Políticos, empresarios y economistas, en general, entienden como tecnología algo que puede ser comprado y consideran que nuestro problema es fundamentalmente económico. Se difunde la percepción de que investigación e innovación no están a nuestro alcance; con políticas públicas adecuadas el país podría desenvolverse económicamente y, entonces, comprar la tecnología que desee. Triste engaño: tecnología es aplicación del conocimiento y, por tanto, está íntimamente ligada a la ciencia.

Los norteamericanos tienen un formidable dominio de tecnologías estratégicas porque invirtieron en la educación y comenzaron a hacer ciencia hace mucho tiempo. En torno de 1750, cuando la ciencia parecía restricta a Europa, Benjamín Franklin ya realizaba experiencias en electricidad y contribuía al descubrimiento de la ley de conservación de cargas eléctricas. Franklin, el primer físico norteamericano, además de investigador, fue militante político. Fundó un periódico que divulgaba ideas libertarias, fue diputado por Filadelfia y tuvo una participación importante en la redacción de la Declaración de Independencia en 1776.

Cien años después, los Estados Unidos ya eran una república federativa independiente, soberana y en rápido proceso de industrialización. Los científicos norte-americanos realizaban experiencias pioneras y disputaban grandes descubrimientos con los europeos. En la segunda mitad del siglo XIX contribuyeron mucho al desarrollo del electromagnetismo, que resultó en la invención del generador y del motor eléctrico, responsables por el uso de la energía eléctrica en la iluminación y en innumerables aplicaciones domésticas e industriales, revolucionando las costumbres de la humanidad.

También inventaron el telégrafo, el teléfono y la radio, artefactos que revolucionaron las comunicaciones. Surgieron entonces los primeros grandes emprendedores en tecnología. Alexander Graham Bell, inventor del teléfono, creó una empresa para explotarlo comercialmente, que, después, se convirtió en la AT&T. Thomas Edison inventó la lámpara eléctrica, el micrófono de carbón para teléfonos, el gramófono, entre otros, y creó la Edison Electric, que después se convirtió en la General Electric (GE). Bell y Edison no eran científicos, pero sabían que sin ciencia e innovación tecnológica sus empresas no podrían competir y ganar mercados. Por eso, la AT&T y la GE crearon centros de investigación y contrataron los primeros PhDs formados en Harvard, MIT, Yale etc.

Pero, para consolidar su dominio tecnológico, faltaba más ciencia. Entonces los Estados Unidos abrieron las puertas para los científicos que huían de los peligros de las guerras en Europa, como Albert Einstein y muchos otros. El trabajo de ellos fue esencial para dar gran impulso al sistema local de ciencia y tecnología (C&T) y crear programas de formación en masa de investigadores por medio de cursos de maestría y doctorado.

Después de La Segunda Guerra Mundial varias empresas norteamericanas crearon centros de investigación y desarrollo (P&D), ampliaron la contratación de investigadores en las áreas de “ciencias duras” y en las ingenie-

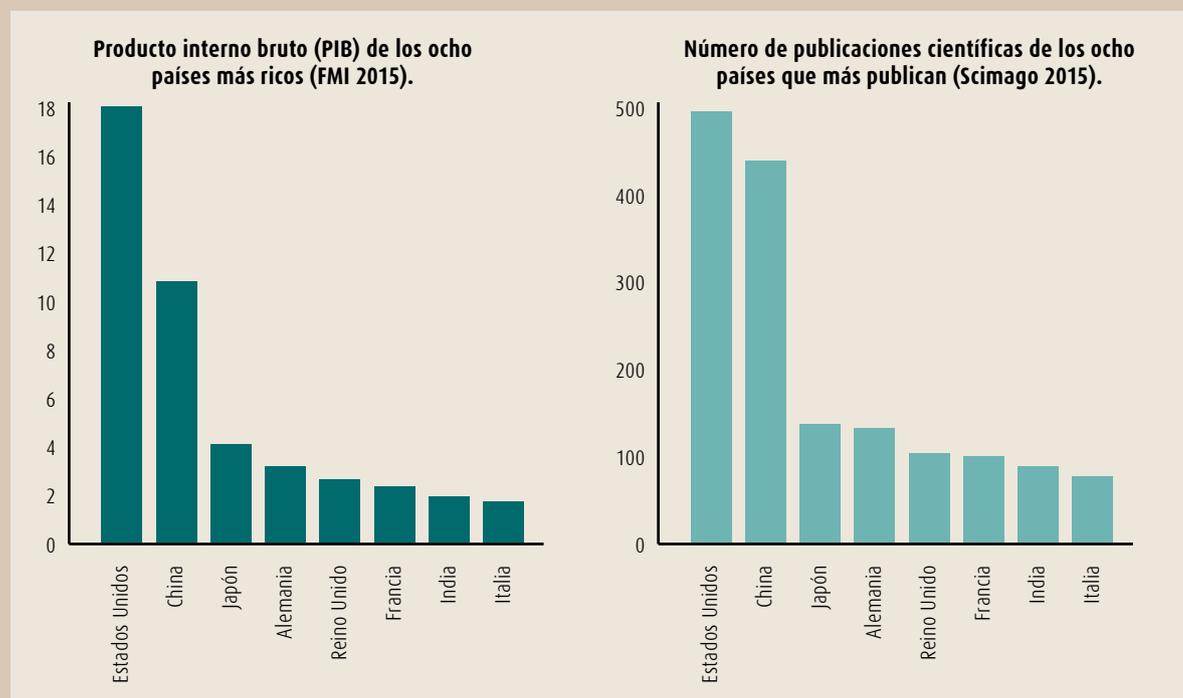
rías, y expandieron su capacidad de innovar y lanzar nuevos productos en el mercado. Al mismo tiempo, el gobierno federal amplió las políticas de C&T y creó diversos institutos federales de investigación en áreas estratégicas, junto con varias agencias de financiamiento. Se destacaron la National Science Foundation, los Institutos Nacionales de Salud y agencias en el Departamento de Defensa y en el Departamento de Energía. Esas agencias ampliaron mucho el financiamiento para investigaciones en las universidades, en los institutos y también en las empresas, en general por medio de contratos de desarrollo de productos para defensa, energía y salud. Así, los Estados Unidos dominaron el ambiente de C&T en la pos-guerra y atrajeron investigadores de todo el

mundo, notoriamente de Europa, Japón y Taiwán, para sus universidades, institutos y empresas.

Derrotados en la guerra, Alemania y Japón pasaron a priorizar C&T en el proceso de reconstrucción de sus industrias. Consiguieron recuperarse en pocos años. El progreso de Japón contaminó otros países asiáticos. Al final del siglo XX también Corea del Sur ya era una potencia industrial. La Figura 1 ilustra la correlación entre desarrollo económico y desarrollo científico y tecnológico. Los ocho países más ricos del mundo, conforme el producto interno bruto (PIB) conferido por el Fondo Monetario Internacional (FMI) en 2015, son los mismos ocho países con mayor número de publicaciones en C&T, de acuerdo con la base de datos Scimago.

Se engañan los que consideran que esos países invierten en ciencia porque son ricos. Las evidencias son claras en señalar que, como ya decía Oswaldo Cruz en 1900: “Meditad, si sólo las naciones fuertes pueden hacer ciencia o si es la ciencia la que las hace fuertes.” O, como dijo recientemente el físico Michio Kaku: “Ciencia es el motor de la prosperidad.” El ejemplo reciente más notable es el de China, que en 2002 tenía un PIB de cerca de US\$ 1 trillón, el séptimo del mundo. En las últimas tres décadas ella incorporó C&T en sus programas de desarrollo y estableció una política de Estado para el sector, ampliando programas y recursos, incluso en los cambios de gobierno. Hoy, es el segundo país más rico del mundo y el segundo mayor productor de ciencia.

**Figura 1 | Correlación entre desarrollo económico y desarrollo científico**



**Figura 2 | Ilustración de un sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación (SNC,T&I)**

Lo que caracteriza a los ocho países de la Figura 1, así como a muchos otros países industrializados, es una economía basada en el conocimiento, para la cual es esencial tener un Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNC, T&I). Como aparece en la Figura 2, un SNC,T&I está básicamente formado por gobierno, universidades y empresas. El papel del gobierno es crucial: él define las políticas y estrategias de C,T&I, articuladas con otras políticas públicas, notoriamente la industrial. Las universidades tienen el papel esencial de formar recursos humanos, generar conocimiento para empujar las fronteras de la ciencia y producir nuevas tecnologías. En las empresas ocurre de manera más intensiva la innovación tecnológica que genera nuevos productos, procesos y servicios o incrementa la mejoría de los ya existentes, para volverlos competitivos y ganar

mercados. En los países industrializados los gobiernos son responsables por lo menos del 50% del financiamiento al P&D en las universidades y en los centros especializados, que en general son públicos.

### Notas históricas: inicio tardío de C&T en Brasil

La historia de la formación de los políticos y empresarios de nuestro país es muy diferente a la de los Estados Unidos. En la época de Franklin, Brasil era dirigido por gobernadores-generales, o virreyes, que se sustituían en el poder, protegiendo sus intereses personales y manteniendo la colonia sumisa. Nuestros colonizadores portugueses no permitían que aquí hubiese tipográficas para imprimir panfletos, periódicos o libros, vehículos esenciales para la educación y la difusión de las ideas. Cien años después todavía vivíamos

en una monarquía esclavista. Nuestros empresarios eran los fabricantes de caña de azúcar, los barones del café y los hacendados del cacao, que dominaban la política, protegiendo los intereses de la élite y actuando en sintonía con los detentores del capital internacional. Nuestra independencia no fue conquistada, sino consentida por razones que eran convenientes a los dominadores. Brasil se desarrolló así, siempre mutilado por intereses externos, con injusticia social y sin empresas que produjesen en base a educación, ciencia y tecnología. Nos especializamos en la producción de productos simples y en la exportación de materias primas. Hasta el siglo XX no contábamos ni con universidades, ni con un sistema amplio de enseñanza básica, ni con industrias nacionales.

Los primeros cursos de derecho y de medicina sólo fueron creados después que la familia real portu-

guesa vino para Brasil en 1808. Pero solo en 1934, 298 años después de la fundación de la Universidad Harvard, fue implantada nuestra primera universidad de verdad, la de São Paulo. Hasta la década de 1960 una parte muy pequeña de la población tenía acceso a la enseñanza superior. Con raras excepciones, los profesores de las facultades y escuelas ejercían actividades profesionales en otras áreas. No eran investigadores, entre otras razones porque en las universidades no había empleo en régimen de tiempo integral. Tampoco había programas de formación pos-graduada, así como ingenieros o especialistas en sectores básicos de la industria. Nuestro parque industrial era incipiente. No existía cultura de innovación en las empresas.

Las bases para alterar este cuadro fueron lanzadas en 1951 con la creación del Consejo Nacional de Investigaciones (CNPq) y de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (Capes), que pasaron a conceder becas de estudios para formación pos-graduada en el exterior y a apoyar las actividades científicas en los pequeños grupos de investigación que estaban siendo creados. La actuación del CNPq y de Capes fue fundamental para cambiar el escenario de la C&T en Brasil, que en las últimas décadas tuvo cuatro periodos:

1. Construcción y expansión del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), 1960-1994;
2. Crisis y transición para un nuevo y sistemático financiamiento, 1995-2003;
3. Implantación de una política federal de C&T más consistente, 2003-2013;
4. Retrocesos recientes en el sistema federal de C,T&I

## La construcción de mecanismos de financiamiento en el período 1960-1994

La construcción del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología en Brasil se dio entre las décadas de 1960 y 1980. En esa época, el CNPq y la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep), creada en 1967 y ejecutora del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FNDCT) a partir de 1971, implantaron diversas modalidades de apoyo financiero que se volverían bien conocidas de la comunidad científica y tecnológica.

## El mayor desafío para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en Brasil continúa siendo la falta de políticas de Estado. Cambian los gobiernos y, con ellos, cambian las prioridades, amenazando la continuidad hasta de los programas más exitosos.

Mediante términos de otorga, el CNPq concedía becas y auxilios solicitados individualmente por los candidatos en la forma de demanda espontánea, en plazos establecidos en calendario anual que varió poco en aquellas décadas. Las principales modalidades de becas eran: iniciación científica, para estudiantes de graduación; maestría y doctorado, para estudiantes de pos-graduación; e investigación, para investigadores de universidades y de instituciones de investigación (como adicional de salario). Los auxilios contemplaban, principalmente, el desarrollo de proyectos, la realización de eventos (congresos, conferencias) y viajes al exterior, tanto para programas de formación y entrenamiento como para participación en eventos.

La Finep concedía financiamientos no reembolsables para centros de investigación e institutos o departamentos académicos, mediante el establecimiento de convenios con duración típica de dos años, firmados con instituciones-sede o fundaciones que las representaban. Estos apoyos institucionales, como eran conocidos, preveían recursos para obras y reformas físicas, adquisición de equipamientos, material permanente y de consumo y otros costos de las actividades de investigación, inclusive pago de personal. No había calendario fijo: en cualquier época la institución interesada presentaba una carta-consulta que, una vez aprobada, la habilitaba a formalizar la propuesta de financiamiento. Esta modalidad de apoyo financiero institucional proporcionó la creación o la consolidación de centenas de unidades de investigación y de

pos-graduación durante las décadas de 1970 y 1980.

Los programas de la Finep incluían instituciones que actuaban en todas las áreas del conocimiento. Pero las más beneficiadas por los recursos del FNDCT eran las áreas tradicionales, como las ciencias físicas y matemáticas, las ciencias biológicas y las ingenierías. Adicionalmente, aportes financieros institucionales fueron canalizados para la Coordinación de los Programas de Pos-Graduación en Ingeniería de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) y para el Centro Técnico Científico de la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (CTC/PUC-RJ) durante más de dos décadas. Desde que fue creada, la Finep también financió proyectos de ingeniería, desarrollo e innovación en empresas, por medio de operaciones de crédito, con tasas de interés, plazos de reembolso y de amortización bastante favorables en comparación con las condiciones del mercado (préstamos de bancos comerciales).

Mientras tanto, Capes dedicaba la mayor parte de su esfuerzo para apoyar los programas de pos-graduación, básicamente por la concesión de becas de maestría y doctorado, y desarrollaba una competente sistematización de credenciamiento y evaluación de los cursos de pos-graduación.

Durante la década de 1970, el gobierno federal elaboró dos Planes Básicos de Desarrollo Científico y Tecnológico (PBDCTs), que norteaban la política de C&T para los trienios siguientes. Además de contemplar los presupuestos para el sector en los años subsecuentes, los

PBDCTs también definían los programas de desarrollo científico-tecnológico y de formación de recursos humanos para la investigación, los programas sectoriales prioritarios y las estrategias para su implementación. Mientras, en relación a la C&T para el desarrollo industrial, los planes eran vagos, semejantes a cartas de intención, con poca conexión con la política industrial en vigor.

Al ser creado en 1985, el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) absorbió en su estructura a Finep, el CNPq y sus unidades de investigación. El MCT consiguió recuperar parcialmente los recursos del FNDCT, que habían sido muy reducidos en relación a los mayores niveles de la década de 1970. La primera gestión del MCT conquistó otros avances importantes, como el aumento del número de becas de pos-graduación en el CNPq y la implementación del Programa de Formación de Recursos Humanos en Áreas Estratégicas (RHAE). Contando con mayor volumen de recursos, el CNPq pasó a conceder becas de pos-graduación y becas RHAE de forma institucional, aprobando cuotas para las instituciones credenciadas, que se encargaban de seleccionar los candidatos. Más tarde, ya en la década de 1990, también las becas de iniciación científica pasaron a ser, en parte, distribuidas por cuotas, en el Programa Institucional de Becas de Iniciación Científica (Pibic).

Las dificultades para la recuperación plena de los presupuestos del FNDCT llevaron al MCT a crear un nuevo instrumento de financiamiento, el Programa de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico

(PADCT), que se fortaleció de 1985 a 1998, usando recursos de préstamos del Banco Mundial (BIRD) y contrapartidas del Tesoro Nacional. El PADCT introdujo tres características nuevas en la sistematización de financiamiento de las agencias del MCT:

1. Priorización de áreas. Apenas algunas áreas de conocimiento eran pasibles de financiamiento: química e ingeniería química, biotecnología, geociencias, nuevos materiales, instrumentación, educación en ciencias, información y gestión de C&T, mantenimiento, materiales de consumo especiales;
2. Selección por edictos. Los proyectos a ser financiados eran seleccionados por medio de edictos de llamadas públicas, elaboradas por los comités técnicos de cada área y publicadas en cualquier momento, sin calendario fijo;
3. Múltiples agencias. El programa era gerenciado por una secretaria ejecutiva vinculada al MCT, bajo la orientación de un comité de coordinación, siendo ejecutado por tres agencias, Finep y CNPq (vinculadas al propio MCT) y Capes (vinculada al Ministerio de Educación). La existencia del PADCT provocó notables avances en algunas áreas, notoriamente química y biotecnología.

El final de la década de 1980 y el inicio de la de 1990 fueron caracterizados por gran inestabilidad en la estructura de gestión de C&T del gobierno federal. El MCT fue extinguido y recreado más de una vez. A pesar de esto y de la irregu-

laridad de los recursos para becas y fomento, los instrumentos de financiamiento de la Finep y del CNPq fueron mantenidos en su esencia.

En 1995, bajo nueva administración federal, el MCT disponía de un conjunto aparentemente consolidado de instrumentos de financiamiento del sistema nacional de C&T. El CNPq concedía, principalmente, becas de iniciación científica, maestría, doctorado, pos-doctorado, investigación y RHAE, así como auxilios para investigación, realización de eventos y viajes técnico-científicos. El número de becas y el presupuesto de fomento crecían, aunque modestamente, hace varios años, y el calendario de solicitud era bien establecido. La Finep mantenía los programas de financiamiento institucional con recursos del FNDCT, mientras el PADCT financiaba proyectos de investigación en las áreas estratégicas establecidas por el MCT, seleccionados por medio de llamadas públicas.

## Crisis y transición para una nueva política de C,T&I en el período 1995-2002

El cuadro fue sustancialmente alterado en los años siguientes. En el CNPq, el número de becas pasó a disminuir anualmente a partir de 1995, mientras el programa de auxilios a la investigación fue interrumpido en 1997. En ese mismo año, la Finep rescindió los convenios institucionales en vigor, ante la drástica reducción de los recursos del FNDCT. En 1999, el PADCT, que ya estaba en la tercera versión, fue desactivado, a pesar de haber saldo en los recursos del préstamo del Banco Mundial

La discontinuidad de los programas de apoyo institucional de la Finep fue causada por el llamado “vacío” del FNDCT. Esto no provocó mayores reacciones en la comunidad científica, básicamente por tres razones:

1. Con el gran crecimiento del sistema de C&T y la limitación de recursos para los apoyos institucionales, la mayor parte de las instituciones no estaba contemplada en los programas de la Finep;
2. Los aportes institucionales, principalmente en las grandes instituciones, contemplaban grupos de investigación menos calificados, que se beneficiaban de la participación en proyectos institucionales en la compañía de grupos más calificados y de mayor prestigio;
3. Durante las décadas de 1980 y 1990, otras fuentes de recursos federales y estatales fueron creadas para suplir las necesidades básicas de mantenimiento de los programas de pos-graduación y de grupos de investigación. Esto ocurrió de manera notable en São Paulo, que concentraba cerca de 50% de los investigadores del país. La Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de São Paulo (Fapesp) disponía de recursos significativos para fomentar la investigación.

La reducción de los recursos del FNDCT y del fomento a la investigación en el CNPq, además de la interrupción del PADCT –decisiones de política microeconómica–, provocaron gran discontinuidad en

la política federal de C&T. Esto fue resultado de las dificultades económicas crecientes y de la poca importancia atribuida al sector de C&T por las principales autoridades federales del área económica. Pesó también la falta de evidencias más concretas de los resultados de la ciencia y de la tecnología para el aumento de la riqueza y el desarrollo del país. Esta última razón fue consecuencia de la falta de inversión del sector empresarial en actividades de P&D, de la ausencia de políticas industriales que propiciasen la llegada de una cultura de innovación en las empresas, así como del distanciamiento de la comunidad académica en relación al sector productivo.

El período 1995-2002 puede ser caracterizado como de transición: por un lado, las contingencias económicas llevaron al MCT a interrumpir los programas tradicionales de financiamiento; por otro, el ministerio lanzó las bases para el proceso de reconstrucción de la política de C&T. Esto demandó la creación de nuevas modalidades y formatos de financiamiento y, principalmente, nuevos mecanismos para asegurar fuentes de recursos más estables para el sector.

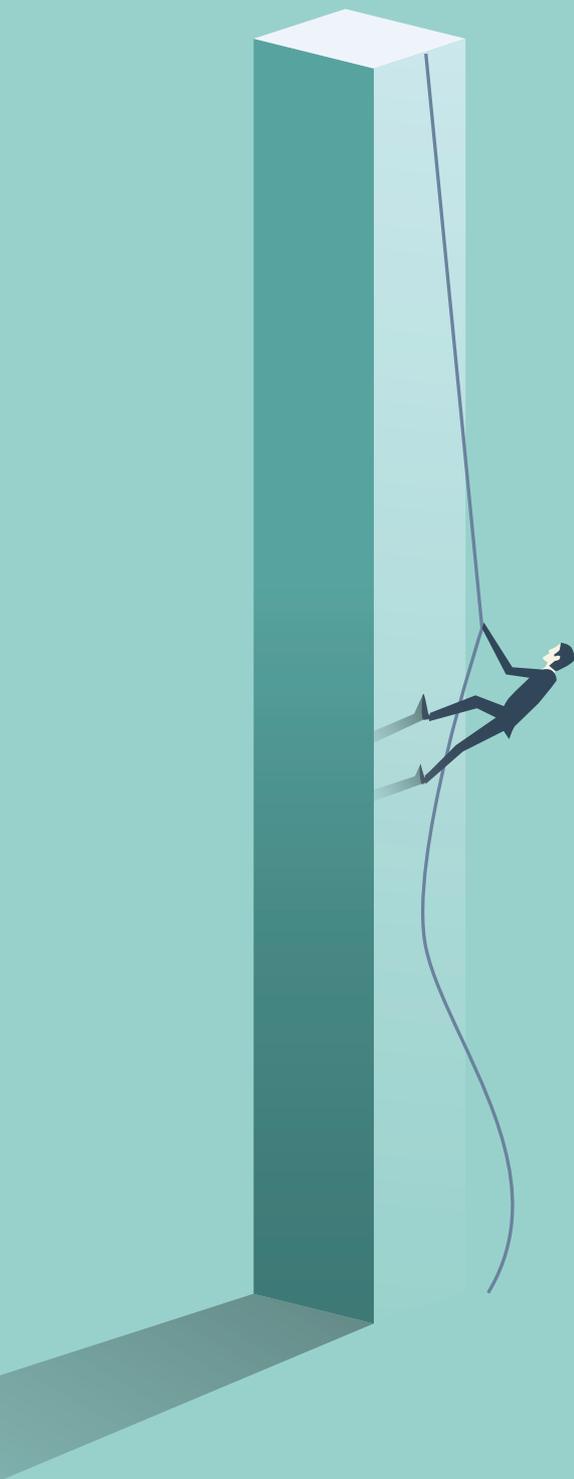
La modalidad de apoyo financiero a proyectos de investigación sometidos espontáneamente al CNPq por líderes de grupos, en calendario anual, fue substituida por tres programas, implementados en el período de 1996-2000. El primero fue el Programa de Apoyo a Núcleos de Excelencia (Pronex), concebido en base a la idea de que los recursos para la investigación estaban fragmentados. Él pretendía proporcionar apoyo financiero continuado apenas a los grupos de in-

**Obtuvimos expresivos resultados entre 2003 y 2013, con 87 programas prioritarios, todos con objetivos claros, institucionalidad definida y presupuestos garantizados.**

investigación de alta competencia, que tuviesen liderazgo y papel nucleador en sus áreas de actuación. Por medio de tres llamadas públicas anuales de competencia nacional, publicadas en 1996, 1997 y 1998, fueron seleccionados 206 núcleos de excelencia. En esa época, el número de grupos de investigación inscritos en el Directorio de Grupos del CNPq era de cerca de 10 mil.<sup>1</sup> Además de apoyar apenas un número reducido de grupos, el Pronex promovió considerable concentración regional, pues 74% de los núcleos contemplados estaban localizados en la región Sudeste, 17% en la región Sur y apenas 9% en las regiones Norte, Nordeste y Centro-Oeste.

Cabe registrar, también, que apenas grupos académicos fueron beneficiados, quedando los institutos tecnológicos fuera del Pronex. Inicialmente ejecutado por la Finep, el programa tuvo su gestión transferida para el CNPq en 2000, cuando ya había perdido prioridad entre los programas del MCT. A partir de aquel año comenzaron atrasos en las liberaciones de recursos, lo que obligó al CNPq a extender los plazos de ejecución de los proyectos. Gran parte de ellos tuvo su duración alterada de tres para cinco años, sin ubicación de fondos adicionales. Entre 1999 y 2002 no hubo lanzamiento de otras llamadas públicas del Pronex.

La interpretación dada en la época para la pérdida de prioridad del Pronex fue la de que él no evitó la “dispersión” de recursos para fomento que ocurría en los programas de auxilio a la investigación: se consideró que 206 era un número excesivo de núcleos de excelencia en el país. Esta fue una de las razones para la virtual sustitución del Pronex por el programa Institutos del Milenio. En el año 2000 se



lanzó una llamada pública para seleccionar propuestas para la nueva categoría de institutos, caracterizados como redes virtuales de instituciones, coordinadas por una institución-madre. El nuevo programa fue financiado con el saldo de los recursos del Banco Mundial para el PADCT, con contrapartida del Tesoro Nacional. De las 217 propuestas presentadas, apenas diecisiete fueron seleccionadas, nuevamente con enorme concentración regional: catorce propuestas eran de la región Sureste, dos de la región Nordeste y apenas una de la región Sur.

La reacción negativa de la comunidad científica al efecto de la concentración promovida por el Pronex y por el programa Institutos del Milenio llevó al CNPq a lanzar, en 2000, un edicto universal para seleccionar proyectos presentados por líderes de grupos de investigación, concurriendo al financiamiento en tres categorías de valores-límites.

El avance más importante en el sector de C&T al final de la década de 1990 fue, sin duda, la llegada de los fondos sectoriales de ciencia y tecnología. Creados a partir de 1999, en la base del Fondo Sectorial del Petróleo y Gas Natural, establecido por ley en el año anterior, los fondos sectoriales enseguida fueron percibidos como el camino para asegurar fuentes de recursos más estables para C&T. El MCT elaboró muchos otros proyectos de ley que definían recetas para nuevos fondos, oriundas de contribuciones incidentes sobre el resultado de la exploración de recursos naturales pertenecientes a la Unión; de parcelas del impuesto sobre productos

industrializados (IPI) de ciertos sectores y de la contribución por intervención en el dominio económico (Cide) incidente sobre los valores que remuneraron el uso o la adquisición de conocimientos tecnológicos y la transferencia de tecnología del exterior. Durante la tramitación de los proyectos hubo gran movilización de las sociedades científicas en el Congreso Nacional, lo que contribuyó a la aprobación de las leyes en plazos relativamente cortos.

El modelo de gestión concebido para los fondos sectoriales fue basado en la existencia de comités gestores, uno para cada fondo. Cada comité es presidido por un representante del MCT e integrado por representantes de ministerios afines, agencias reguladoras, sectores académicos y empresariales, además de las agencias del MCT (Finep y CNPq). Los comités gestores tienen la prerrogativa legal de definir las directrices, acciones y planes de inversiones de los fondos sectoriales. Si, por un lado, este modelo posibilitó la participación de amplios sectores de la sociedad en las decisiones sobre la aplicación de recursos, por otro tuvo como resultado una gestión poco integrada. De los catorce fondos existentes en 2002, doce eran sectoriales y apenas dos transversales (Fondo de Infra-estructura y Fondo Verde-Amarillo).<sup>2</sup> Por eso, la recomposición del FNDCT a través de los fondos sectoriales dificultó la implementación de una política abarcadora de C&T, pues diversos sectores importantes de la economía, así como las áreas de investigación básica, continuaban con pocos recursos.

Otra iniciativa importante del MCT en el período 1999-2002 fue la realización de la II Conferencia Nacional de CT&I,<sup>3</sup> en septiembre de 2001. Ella fue precedida por la elaboración del llamado *Libro verde de CT&I*, con informaciones, análisis, diagnósticos y desafíos del sector, basados en los resultados de un amplio debate coordinado por el MCT sobre el papel del conocimiento y de la innovación en la aceleración del desarrollo social y económico del país. Además de publicar los trabajos presentados, la Conferencia también publicó el llamado *Libro blanco de CT&I*, conteniendo los desafíos para la consolidación del sistema nacional de CT&I y un conjunto de objetivos, directrices e instrumentos para una política nacional de CT&I.

## Período 2003-2013: implantación de políticas federales de C,T&I más consistentes

A partir de 2003 el gobierno del presidente Luiz Inácio Lula da Silva tomó dos iniciativas que cambiaron mucho el cuadro de C&T en Brasil: definió una política nacional de C,T&I en 2004 y lanzó el plan de acción de C,T&I (Pacti) en 2007. El Pacti tenía cuatro prioridades estratégicas, orientadas por la política nacional de C,T&I:

1. Expansión y consolidación del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación;
2. Promoción de la innovación tecnológica en las empresas;
3. Investigación, desarrollo e innovación en áreas estratégicas;
4. Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo social.

Estas prioridades comprendían 87 programas, todos con objetivos claros, institucionalidad, metas y presupuestos. En 2011, al inicio del gobierno de Dilma Rousseff, fue anunciada la estrategia nacional de ciencia, tecnología e innovación (Encti), básicamente con las mismas prioridades del Pacti, pero sin metas y presupuestos concretos.

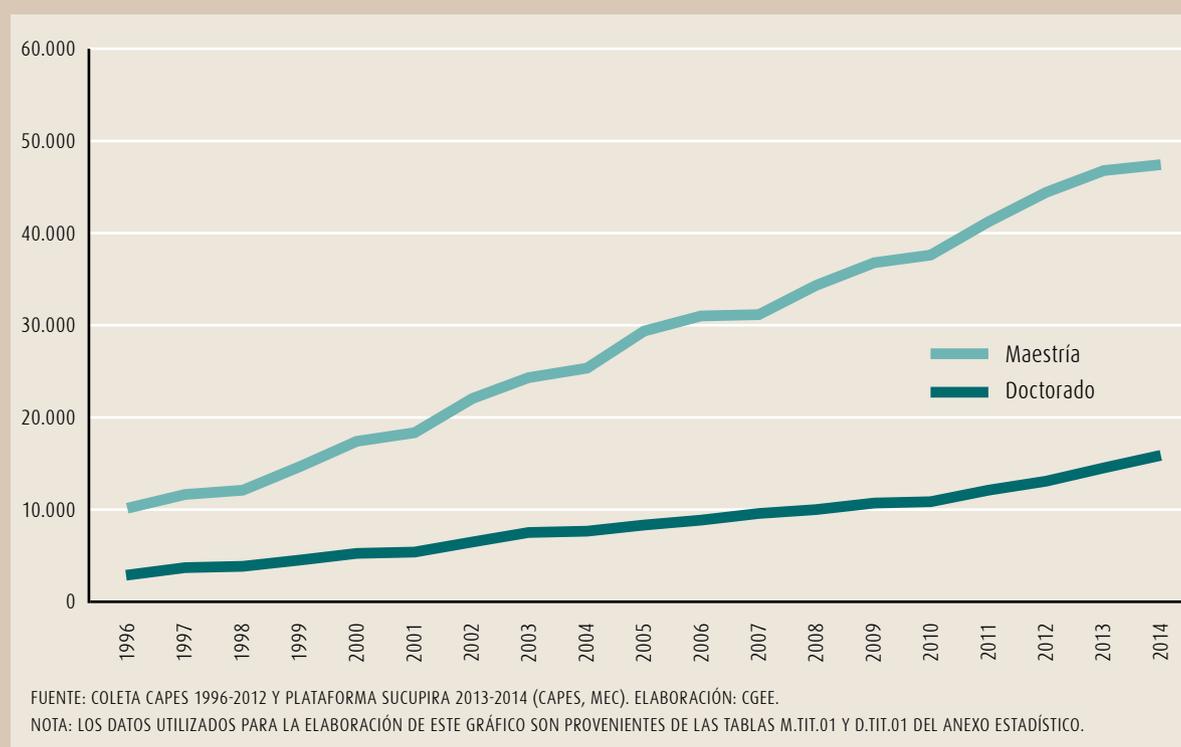
En todas las cuatro prioridades los resultados alcanzados fueron expresivos. En la primera de ellas los principales resultados fueron:

1. Gran ampliación de los recursos y de las modalidades de financiamiento de la investigación científica y tecnológica, con buena distribución geográfica;
2. Aumento considerable en el número de becas de estudio y de investigación del CNPq y de Capes;
3. Ampliación de las acciones e iniciativas de cooperación internacional en C&T;
4. Fuerte aumento de la articulación entre el gobierno federal y los estados, lo que contribuyó a consolidar el sistema nacional de C,T&I;
5. Conclusión de la conexión a internet en alta velocidad de todas las universidades, escuelas técnicas e instituciones de investigación del país a través de la nueva Red Nacional de Investigación (RNP).

Uno de los resultados importantes en el interior de la prioridad 1

del PACTI fue el considerable aumento del número de becas del CNPq y de Capes para estudiantes, desde la iniciación científica hasta la pos-graduación, y para investigación. El número de becas de las dos agencias evolucionó de cerca de 80 mil en 2001 para cerca de 200 mil en 2013. En aquel año, cerca de 30 mil becas eran del programa Ciencia Sin Fronteras, creado en 2011, con el objetivo de aumentar el intercambio con el exterior. El aumento del número de becas llevó a un expresivo crecimiento en la formación de recursos humanos pos-graduados, con titulación de maestro y doctor, como muestra la Figura 3. En ella, llama la atención el hecho de que

**Figura 3 | Evolución en el número de títulos de maestrías y doctorados concedidos anualmente en Brasil de 1996 a 2014**



en diecinueve años el número de maestros y doctores formados por año fue multiplicado cinco veces.

En la segunda mitad de la década de 2000, el CNPq pasó a disponer de edictos en programas para apoyar proyectos en una gran área de investigación. El edicto universal, lanzado anualmente, fue la mayor iniciativa del CNPq para apoyar proyectos de investigación de individuos y grupos. Pueden ser presentadas propuestas en cualquier área del conocimiento. En aquella época, el valor del edicto universal fue sustancialmente ampliado con recursos provenientes del FNDCT. El CNPq también lanzó una gran variedad de edictos para seleccionar proyectos en temas específicos, en una vasta gama de áreas de C&T, apoyados con recursos de los fondos sectoriales y también del presupuesto propio.

Una iniciativa importante, creada en la década de 1990, que fue revigorizada y ampliada por el CNPq es el Programa de Apoyo a Núcleos de Excelencia (Pronex), que apoya núcleos de investigación formados por grupos de reconocida excelencia y articulados en redes temáticas. En 2008 fue ampliado con recursos del FNDCT y pasó a ser ejecutado en asociación con fundaciones estaduais de amparo a la investigación, que también aportan recursos de contrapartida y lanzan edictos en el ámbito estadual.

El mayor programa de la historia del CNPq, creado en 2008, fue el de los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (INCTs). El programa Institutos del Milenio, creado en 2001, aspiraba a formar redes de investigación en todo el territorio nacional, a promover excelencia cien-

tífica y tecnológica y a fortalecer grupos de investigación en cualquier área del conocimiento, incluyendo las áreas definidas como estratégicas. Por diversas razones los Institutos del Milenio no llegaron a tener la importancia y la dimensión planeadas. Como resultado del Pacti, ellos dieron lugar a los INCTs, caracterizados por una sede en institución de excelencia en la investigación y en la en-

**Avanzamos  
en las ciencias,  
en diversas áreas,  
pero la innovación  
tecnológica en las  
empresas brasileñas  
aún es tímida: menos  
de 5% de nuestros  
investigadores  
actúan en ellas.**

señanza y actuando en red temática con instituciones en otras regiones del territorio nacional. El programa, coordinado por el CNPq, fue articulado y co-financiado con la Finep (FNDCT), Ministerio da Salud, Capes, BNDES, Petrobras y Fundaciones Estaduales de Amparo a la Investigación de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina, Pará, Amazonas, Piauí y Rio Grande del Norte. El edicto del CNPq de 2008 seleccionó 122 INCTs, con recursos del orden de R\$ 609 millones. El segundo edicto para selección

de INCTs, inicialmente previsto para 2012, fue publicado en 2014. Solamente en 2015 fue concluido el proceso de selección de cerca de doscientos institutos, entre los nuevos y los ya existentes. Estos INCTs congregan los mejores grupos de investigación en áreas de frontera de la ciencia y en áreas estratégicas para el desarrollo del país y están contribuyendo a convertir nuestra investigación científica y tecnológica más competitiva internacionalmente.

El financiamiento de proyectos de investigación y de infraestructura también era hecho por la Finep con recursos del FNDCT, primordialmente con selección de propuestas a través de edictos del FNDCT/Fondos Sectoriales. Mientras el CNPq repasaba recursos a individuos, con compromisos firmados por medio de términos de concesión la Finep financiaba instituciones por medio de convenios. Entre los edictos se destacan aquellos que hacen parte del Programa de Modernización de la Infraestructura (Proinfra) de las ICTs, financiado con recursos del CT-Infra, que pasó a formar parte del calendario de las universidades y entidades de investigación del país, con edicto lanzado en diciembre de cada año, para seleccionar propuestas en mayo-junio. Desde 2006 los edictos del Proinfra seleccionaron centenares de propuestas que tuvieron gran impacto en la mejoría y expansión de las instalaciones de investigación de universidades y entidades públicas del país.

Las acciones del Pacti y de la Encti fueron decisivas para la formidable expansión de la comunidad científica, que era insignificante en 1960 y ultrapasó 180 mil investiga-

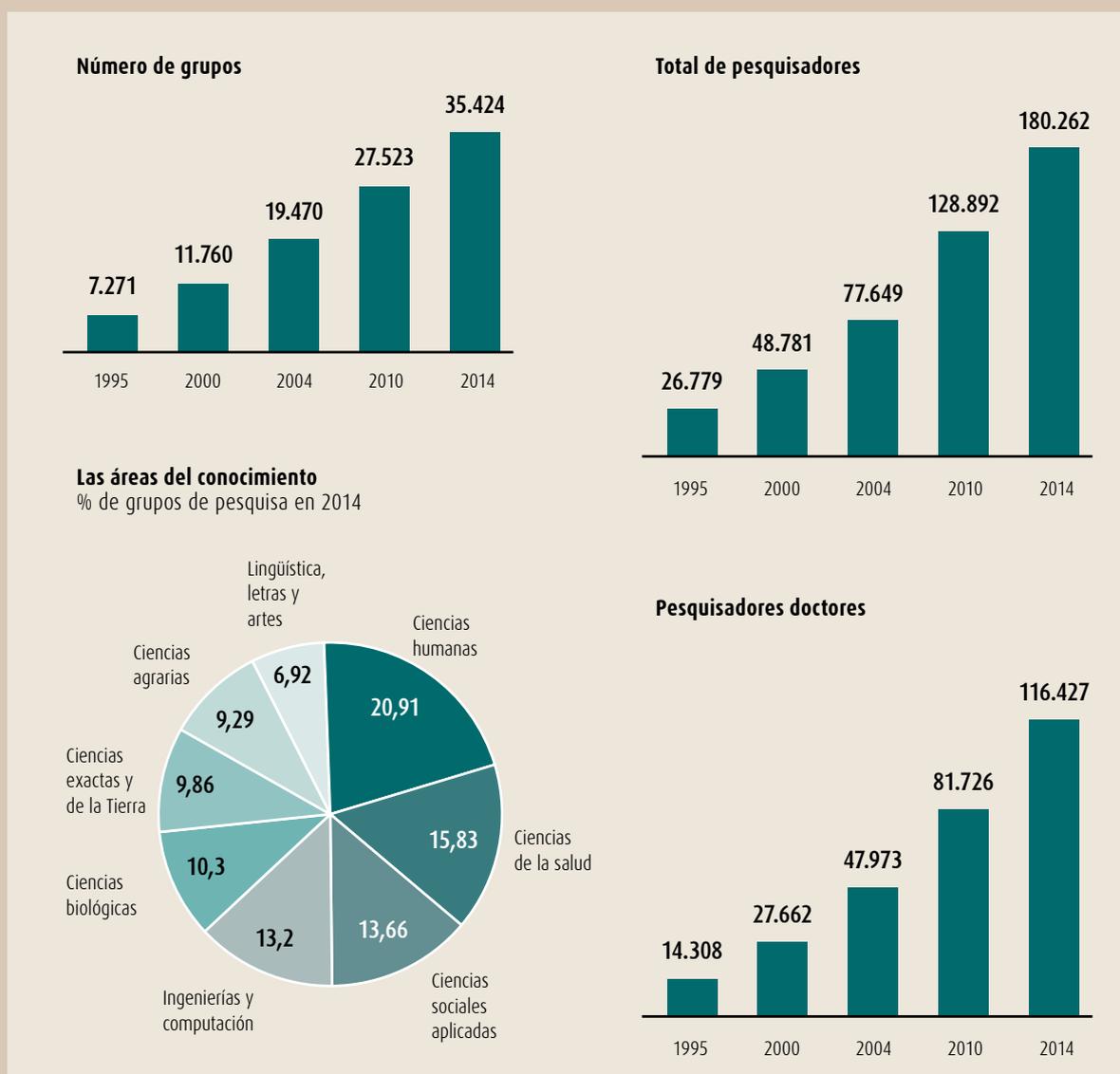
dores activos en 2014, como muestra la Figura 4. De estos, más de 116 mil son doctores. Vale destacar, sin embargo, que el número de nuestros investigadores por habitante aún es bajo: cerca de uno por mil habitantes, lo que corresponde a la mitad de la proporción en los países industrializados. Continuar expandiendo el número de investigadores

es uno de los grandes desafíos del país en la próxima década.

A pesar del gran avance de la ciencia, la innovación tecnológica en las empresas brasileñas todavía es tímida. Según el IBGE, de las 70 mil empresas industriales existentes en 2005 solamente 3% habían introducido un producto nuevo en el mercado. Menos de 5% de los in-

vestigadores brasileños actúan en empresas. Esta situación es consecuencia de la falta de cultura de innovación en el ambiente empresarial y de la poca articulación de las políticas industrial y de C&T. Hasta 2005, el principal instrumento para apoyar la innovación en las empresas era la línea de crédito de la Finep con intereses de TJLP más 5%.

**Figura 4 | Datos sobre números de grupos de pesquisa y de investigadores del directorio de grupos de pesquisa del CNPq (2014)**



Promover la innovación tecnológica en las empresas pasó a ser la principal prioridad común de la Política de Desarrollo Productivo, del Pacti y después de la Encti. Los instrumentos creados a partir de la Ley de Innovación, aprobada en 2004, y de la Ley del Bien, de 2005, posibilitaron un nuevo escenario para la innovación en las empresas, con un amplio abanico de instrumentos para estimular la creación de nuevas empresas basadas en tecnología, las *start-ups*. La subvención económica, prevista en la Ley de Innovación, administrada por la Finep, viabilizó que recursos no reembolsables pudiesen ser concedidos a las empresas innovadoras por medio de tres programas: edicto nacional de la Finep, Programa de Apoyo a la Investigación en Empresas (Pappe) y Programa Primera Empresa Innovadora (Prime), los dos últimos en asociación con los estados.

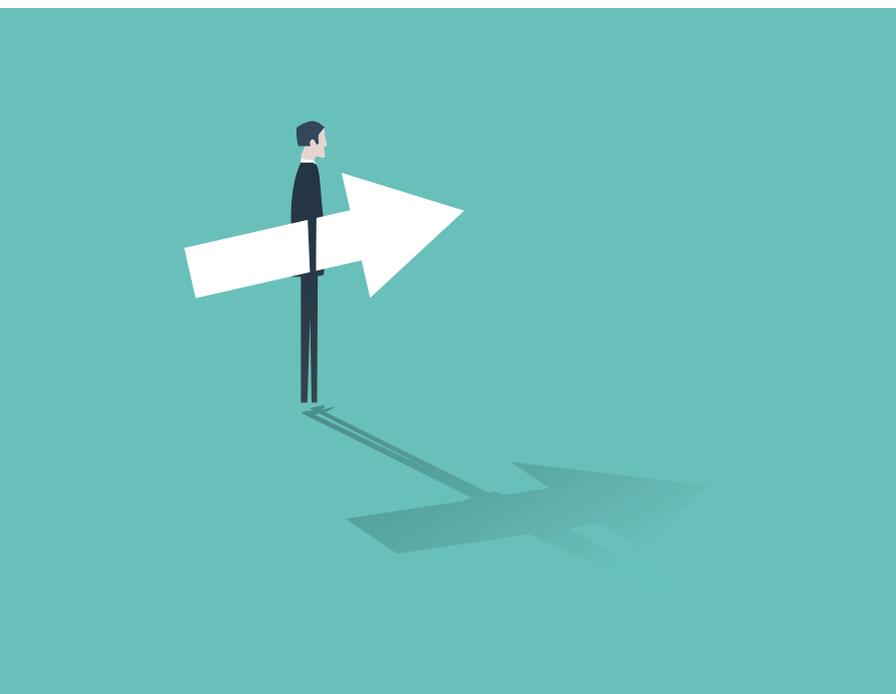
Los edictos nacionales de subvención pasaron a ser anunciados anualmente a partir de 2006, dirigidos hacia diferentes áreas tecnológicas, siendo priorizados los sectores más directamente vinculados con la PDP, como biotecnología, nanotecnología, TICs, TV digital, fármacos y medicamentos, energías renovables y aeroespacial. Por medio de la operación con socios estaduales, el Pappe aportó recursos financieros en las pequeñas y medianas empresas para el desarrollo de actividades de innovación en sectores importantes para el desarrollo local. Por otro lado, el Prime, que entró en operación al inicio de 2009, concedió subvención económica para *start-ups*.

Además de las operaciones no reembolsables, ya señaladas, la Finep pasó a conceder apoyo a la innovación en las empresas por medio de operaciones reembolsables, a saber: Programa de Incentivo a la

Innovación en las Empresas Brasileñas (Innova Brasil) e Interés Cero. Substituyendo el antiguo Pro-Innovación, el Innova Brasil se constituyó en financiamiento con encargos reducidos para la realización de proyectos de investigación, desarrollo e innovación en las empresas brasileñas, como soporte a la PDP.

El Programa Nacional de Apoyo a las Incubadoras de Empresas y Parques Tecnológicos (PNI), creado en 2004, fue otra importante iniciativa para promover el desarrollo tecnológico y la innovación en las micro y pequeñas empresas, estimulando la instalación de consolidación de incubadoras de empresas y parques tecnológicos. Los parques tecnológicos, por su vez, son complejos de desarrollo económico y tecnológico que fomentan y promueven sinergias en investigaciones científicas y tecnológicas y en la innovación entre las empresas e instituciones científicas y tecnológicas, públicas y privadas, con fuerte apoyo institucional y financiero de los gobiernos federal, estadual y municipal, de la comunidad local y del sector privado. Finalmente, para completar el abanico de programas de apoyo a la

**Los cortes en los presupuestos del CNPq y de Capes han disminuido el número y el valor de las becas disponibles.**



P&D en las empresas, existe el Programa RHA-E-Investigador en la Empresa, una acción del CNPq para proveer becas para que investigadores, maestros y doctores, actuaran en las empresas.

Para fomentar la interacción universidad-empresa, el gobierno federal implantó el Sistema Brasileño de Tecnología (Sibratec), formado por tres grandes redes: innovación, servicios tecnológicos y extensión tecnológica. El Sibratec – coordinado por el MCT, pero con la participación activa de varios ministerios y entidades federales, como Finep, BNDES e Inmetro, además del Sebrae – seleccionó por medio de edictos más de un centenar de propuestas de cooperación universidad-empresa. Para consolidar el proceso iniciado con el Sibratec, en 2011 el gobierno creó la Empresa Brasileña de Investigación e Innovación Industrial (Embrapii), que, inspirada en el papel de la Embrapa, tiene la misión de acelerar el proceso de innovación industrial, articulando el sistema nacional de P&D con las empresas. Todavía hay un largo camino por recorrer en este sector, pero es cierto que pasos importantes han sido dados en la dirección correcta y hay señales claras de que muchos empresarios vienen incorporando gradualmente el concepto de innovación en sus agendas de inversión.

Mientras las prioridades I y II del Pacti tenían carácter transversal, pues cubrían todas las áreas del conocimiento y sectores de la economía, la prioridad III (Investigación, desarrollo e innovación en Áreas Estratégicas) era dirigida hacia el desarrollo de trece áreas estratégicas:

1. Áreas portadoras de futuro: biotecnología y nanotecnología;
2. Tecnologías de la información y comunicación (TICs);
3. Insumos para la salud;
4. Biocombustibles;
5. Energía eléctrica, hidrógeno y energías renovables;
6. Petróleo, gas y carbón mineral;
7. Agronegocio;
8. Biodiversidad y recursos naturales;
9. Amazonia y semi-árido;
10. Meteorología y cambio climáticos;
11. Programa espacial;
12. Programa nuclear;
13. Defensa nacional y seguridad pública.

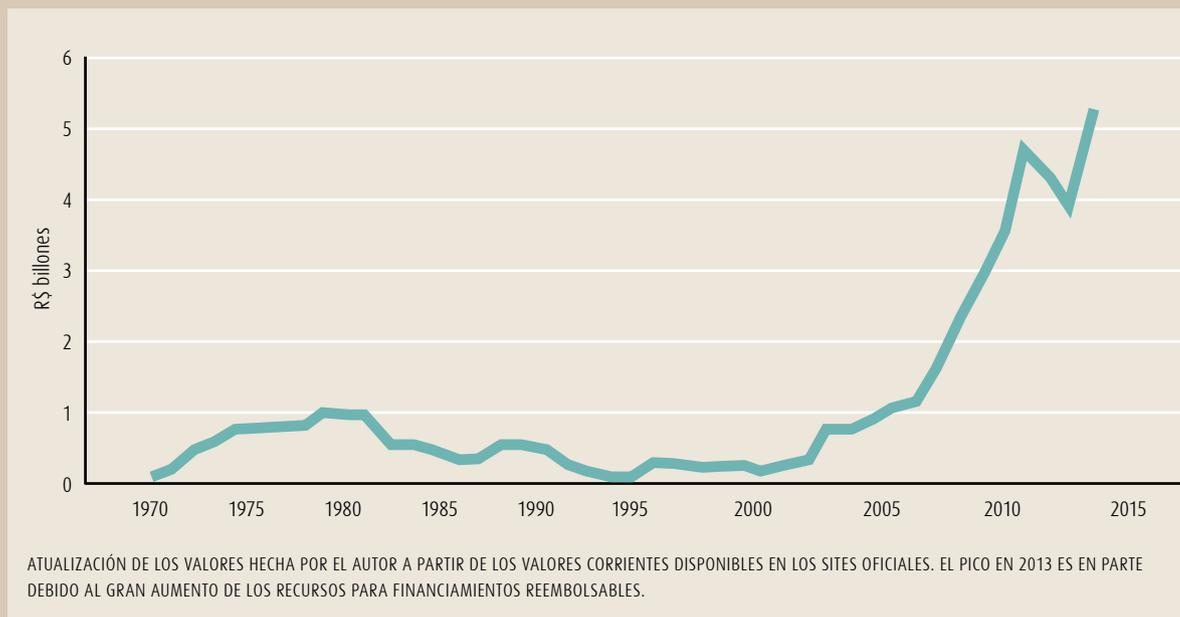
En el marco de las TICs el principal resultado fue el retorno del desarrollo en la microelectrónica. Esta área, estratégica por cuenta de su transversalidad en todos los sectores industriales, fue prácticamente abandonada en las políticas de C&T e industrial de la década de 1990. El Programa Nacional de Microelectrónica, implantado en 2003, fue consolidado con la expansión del CI-Brasil, programa que está formando centenares de proyectistas de circuitos integrados en dos centros de entrenamiento y dieciocho centros y *design houses* en todo el país, y con la creación de la empresa pública Centro Nacional de Tecnología Electrónica Avanzada (Ceitec S.A.), en Porto Alegre, vinculada al MCT. La Ceitec fue implantada en 2008, con inversiones del MCT superiores a R\$ 800 millones (de 2017), para construir, ad-

quirir e instalar equipamientos para un centro de proyectos y una fábrica de circuitos integrados, la primera de América del Sur.

Entre los avances conquistados en el área de biocombustibles merecen destacarse la implantación de la Red de Bioetanol y la creación en 2010 del Centro de Ciencia y Tecnología del Bioetanol (CTBE), instalado en el *campus* del Laboratorio Nacional de Luz Síncrotron, actualmente Centro Nacional de Investigación en Energía y Materiales, con el objetivo de contribuir a mantener el liderazgo brasileño en la producción sustentable de bioetanol de la caña de azúcar. También debe ser destacada la creación de la Red Brasileña de Investigación sobre Cambios Climáticos, instituida por el MCT en 2007, con el objetivo de generar y diseminar conocimiento y tecnología para que Brasil pueda responder a las demandas y desafíos representados por las causas y efectos de los cambios climáticos globales y sustentar políticas brasileñas de prevención, adaptación y mitigación.

En los resultados de la Prioridad IV del Pacti los principales énfasis fueron la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología y la Olimpiada Brasileña de Matemática de las Escuelas Públicas. La Semana, realizada desde 2004, es la principal iniciativa de popularización de la ciencia y ha contado con movilización creciente en todo el país. Durante la Semana, en general la segunda o tercera del mes de octubre de cada año, entidades de enseñanza e/o investigación promueven actividades de divulgación de la ciencia, en sus instalaciones o en espacios públicos.

**Figura 5 | Evolución histórica de la ejecución financiera del FNDCT, en R\$ millones constantes, corregidos por el IPCA media anual**



Otro programa importante y que alcanzó gran éxito fue la Olimpiada Brasileña de Matemática de las Escuelas Públicas (Obmep), creada en 2005. En aquel año la Obmep contó con la participación de cerca de 10 millones de estudiantes y desde entonces el número de inscritos ha aumentado continuamente. Desde 2010 la Obmep ha tenido de 17 millones a 19 millones de alumnos inscritos, en escuelas que se localizan en cerca de 95% de los municipios brasileños, convirtiéndose en un gran programa movilizador de la enseñanza de la matemática. Él ya tiene impacto en la mejoría de la enseñanza de las ciencias en las escuelas públicas.

Contribuyó al aumento de los recursos federales para CT&I en el período 2003–2010 el notable crecimiento de los desembolsos

por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FNDCT), como muestra la Figura 5. Este crecimiento resultó no sólo del aumento de las recetas de los fondos sectoriales, sino también de la decisión del presidente Lula de eliminar gradualmente su contingentación, medida practicada por el área económica desde la creación de los fondos, y que no ocurrió en 2010. Infelizmente, la contingentación del FNDCT volvió a ser practicada en los años siguientes. Como muestra la Figura 5, los valores desembolsados en 2011 y 2012 cayeron en relación a 2010. El pico verificado en 2013 es de cierta manera artificial, pues cerca de R\$ 2 billones fueron destinados al FNDCT para préstamos de la Finep a las empresas, y no para financiamientos no reembolsables, como en otros años.

La ampliación de los recursos federales para C,T&I, asociada a los innumerables programas articulados con los estados, estimuló y viabilizó el aumento gradual de las inversiones estatales. Por otro lado, las medidas legales e iniciativas encaminadas a incentivar las actividades de P&D e innovación en las empresas llevaron a un sustancial aumento en sus gastos en investigación y desarrollo (P&D) e innovación. Como resultado, los gastos nacionales en P&D, sumados a las inversiones públicas (federal y estatales) con las de las empresas privadas, presentó un crecimiento continuo y sustancial en el período 2003–2013. Los dispendios en P&D en relación al producto interno bruto (PIB), que históricamente en Brasil fueron inferiores o en el orden de 1%, alcanzaron 1,24% en 2013. A pe-

sar de ello, esta tasa todavía es muy baja comparada con la de los países industrializados, que están en el orden de 3% a 5% del PIB.

### Retrocesos recientes en el sistema federal de C,T&I y desafíos para el futuro

A pesar de las históricas dificultades políticas, económicas y sociales, en las últimas cuatro décadas Brasil construyó la mayor y más calificada comunidad científica y tecnológica de América Latina, con más de 120 mil investigadores con doctorado. La competencia científica y tecnológica nacional aún no contribuyó de manera más abarcadora a nuestro desarrollo, pero hay innegables ejemplos de suceso cuando el área de C&T contó con recursos y oportunidades, con apoyo continuo del gobierno federal.

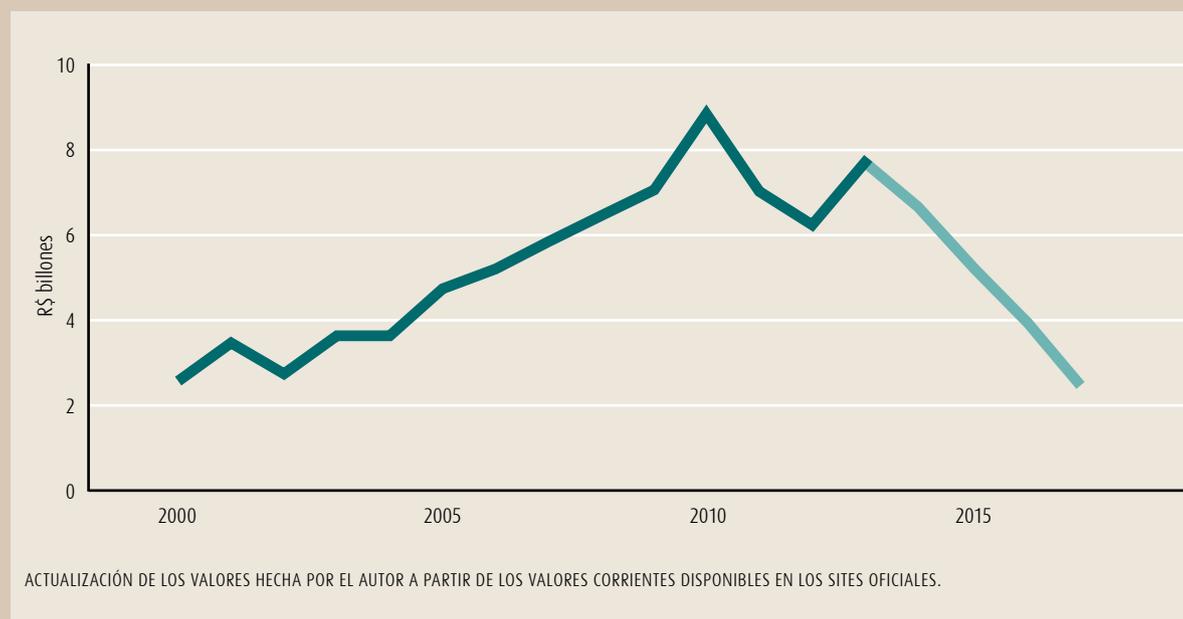
Los más notables son la tecnología de exploración de petróleo en aguas profundas, dominada por Petrobras, que posibilitó al país alcanzar la autosuficiencia en petróleo; el proyecto y la fabricación de aeronaves modernas por Embraer; el liderazgo mundial en la investigación del agronegocio por Embrapa; el dominio del ciclo completo de producción de uranio enriquecido para alimentar las centrales nucleares. Por primera vez en la historia de nuestro país, en muchas áreas de la ciencia y la tecnología hay una “densidad de competencias” suficiente para contribuir de forma decisiva a la realización de ambiciosos proyectos de desarrollo con conocimiento nacional.

Tal cuadro animador, construido en las últimas cuatro décadas, está amenazado por el enorme retroceso reciente en el sistema federal de C,T&I. Con el cambio

frecuente de ministros del MCTI – fueron cinco en los últimos cinco años –, hubo cambios de prioridades y discontinuidades en muchos programas. El FNDCT volvió a ser contingenciado, y prácticamente todas las firmas del presupuesto del MCTI sufrieron cortes. Para agravar el cuadro, el gobierno que asumió en mayo de 2016, después del golpe parlamentario, fundió el Ministerio de Ciencia con el de las Comunicaciones, prácticamente decretando su extinción. Con eso, todo el sistema de C,T&I fue relegado a un nivel bajo en la jerarquía del gobierno federal, acarreado nuevos cortes en los presupuestos de todas las instituciones del sistema federal. La fuerte caída reciente en el presupuesto del MCTI aparece en la Figura 6.

Los cortes en los presupuestos del CNPq y de Capes han llevado a una gradual disminución en el

**Figura 6 | Evolución del presupuesto ejecutado del Ministerio de C,T&I, en R\$ millones constantes, corregidos por el IPCA media anual**



número de becas, cuyos valores no son reajustados desde 2008. Estas agencias también no consiguen regularizar las liberaciones para los cursos de pos-graduación y los diversos programas de investigación, como INCT y Pronex. El programa Ciencia Sin Fronteras, creado en 2011, fue extinguido en 2016. Desde que llegó al pico de R\$ 5,8 billones en 2013, el valor ejecutado del FNDCT cayó en los años siguientes para R\$ 3,3 billones, R\$ 1,6 billones, R\$ 1,8 billones, llegando en 2017 a apenas R\$ 1,7 billones. Esta caída hizo a Finep atrasar la liberación de recursos para los proyectos aprobados en los diversos edictos. Hasta recientemente ella no había liberado recursos para los proyectos aprobados en el edicto de 2014 del Proinfra.

Este cuadro de dramáticos cortes presupuestarios ha generado fuertes protestas de entidades de la comunidad de C&T, notoriamente de la Sociedad Brasileña para el Progreso de la Ciencia (SBPC) y de la Academia Brasileña de Ciencias (ABC). Ellas se han manifestado públicamente, alertando al gobierno federal, al Congreso Nacional y a la sociedad sobre los riesgos para el futuro del país. En 2017, en un movimiento inédito, 23 vencedores del Premio Nobel enviaron una carta al presidente de la República, manifestando preocupación con los cortes en los presupuestos de C&T y alertando para los riesgos que ellos representan. En otro movimiento inédito, en 2018 los presidentes de Capes y del CNPq se dirigieron al público para manifestar su preocupación con los presupuestos previstos para 2019, conteniendo cortes más profundos que, si concretados,

causarán el cancelamiento de decenas de millares de becas.

El retroceso reciente en el cuadro de C&T muestra que el mayor desafío del sector en Brasil continúa siendo la falta de políticas de Estado. Cambian gobiernos y con ellos cambian las prioridades, haciendo difícil mantener programas y acciones, aún los más exitosos. Como decía Celso Furtado “el subdesarrollo no es una simple fase de transición al desarrollo, sino un fenómeno más permanente, cuya superación exige una dedicación política tenaz y prolongada”.

Como vimos, Brasil tiene apenas cerca de un investigador por mil habitantes. Para que C,T&I se hagan efectivos componentes de nuestro desarrollo económico y social será necesario aumentar el número de becas de estudios y de investigación, expandir la comunidad de investigación, mejorar la calidad de la producción científica y la formación de personal en todos los niveles, básico, superior y pos-graduado.

También será preciso aumentar mucho la investigación industrial y hacer que la innovación tecnológica entre definitivamente en el proceso productivo de las empresas. En la otra punta, de abajo para arriba, será importante intensificar los programas de apoyo a las incubadoras tecnológicas y parques tecnológicos, para aumentar el número de startups, de pequeñas y medianas empresas innovadoras, y crear una nueva generación de empresarios emprendedores en tecnología.

No menos importante, será necesario intensificar las acciones e iniciativas de C,T&I para el gran público; mejorar la educación en todos los niveles y, en particular, la

## **Es necesario revocar la Enmienda Constitucional 95, llamada Ley del Techo, o promover su alteración radical, para recuperar la capacidad de inversión del Estado, con 2% del PIB destinados a actividades relacionadas a ciencia, tecnología e innovación.**

enseñanza de las ciencias en las escuelas, para atraer talentos que demuestren potencial para desarrollarse como inventores, científicos, investigadores y emprendedores; y expandir con cualidad la distribución geográfica de la ciencia.

El cuadro actual de C,T&I convierte a las elecciones presidenciales de este año decisivas para el futuro de Brasil. Por cuenta de eso, la SBPC dirigió a los candidatos a la Presidencia un conjunto de propuestas:

1. Recrear el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, completamente destinado a esta área, para actuar articulado con los órganos de CT&I estatales y municipales y, en especial, las Fundaciones de Amparo a la Investigación, que están en grave crisis;
2. Revocar la Enmienda Constitucional 95 (la llamada Ley del Techo) o promover su alteración radical;
3. Impedir la contingentación del FNDCT, promover la recuperación paulatina de los recursos ya contingentados y hacer uso

adecuado y acompañamiento permanente de todos los fondos públicos de apoyo a actividades de investigación y desarrollo;

4. Recuperar los niveles presupuestarios de inversión en CT&I al valor máximo del período 2009–2014;
5. Establecer la meta de invertir 2,0% del PIB en recursos para P&D en los próximos años, con una planificación efectiva para alcanzar la meta;
6. Apoyar y fortalecer los programas e instrumentos esenciales a la C&T, como los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (INCTs), el edicto universal y el Programa de Infraestructura de la Finep (Proinfra), así como la consolidación y modernización de centros nacionales de equipamientos multiusuarios;
7. Cumplir los acuerdos internacionales en curso en el área científica y apoyar la participación de Brasil en los grandes programas internacionales de investigación que fuesen considerados adecuados para el país;
8. En los niveles federal, estadual y municipal, promover la efectiva aplicación del nuevo marco legal de CT&I y su perfeccionamiento, a partir de la evaluación de su funcionamiento. Remover o perfeccionar otras legislaciones que dificulten la realización de investigaciones científicas y tecnológicas;
9. Elaborar un plan nacional de CT&I, con prioridades conectadas con los grandes problemas nacionales, y establecer proyectos movilizados nacionales, en articulación con una política industrial moderna y con el apoyo a procesos e inversiones en innovación en las empresas. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CCT) debe ser el órgano articulador de ese plan, que precisa destacar el papel decisivo de las estructuras estaduais y regionales de CT&I;
10. Mejorar la calidad de la educación en todos los niveles, en particular la educación científica, con la valoración salarial y simbólica del profesor de la educación básica; promover la utilización de metodologías de enseñanza basadas en la investigación y en el uso adecuado de política de cuotas;
11. Diseminar el establecimiento de gestiones públicas que tomen en cuenta los resultados provenientes del conocimiento científico, respeten el medio ambiente y promuevan la innovación y la inclusión sociales;
12. Promover la defensa de la soberanía nacional en cuestiones estratégicas como Petrobras, la ex-

ploración del pre-sal, las fuentes de energía solar y eólica, la industria aeronáutica nacional, la política espacial brasileña y el marco civil de Internet.

Mantenido el conjunto de factores que caracterizan el escenario actual del país, esas metas son coherentes y factibles. Ellas señalan la posibilidad de alcanzar un nuevo patrón de desarrollo en la próxima década, teniendo C,T&I como elementos esenciales para el desarrollo sustentable de Brasil. ■

## Notas

1. Para el trienio 1996/7/8, el Directorio de Grupos del CNPq contaba con un total de 32 mil doctores, de los cuales sólo 3.114 estaban vinculados en proyectos en el ámbito del Pronex.
2. El portafolio de Fondos se mantiene, actualmente, muy próximo al de 2002, habiendo sido incrementado por dos Fondos Sectoriales más.
3. La primera Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, realizada en 1985, objetivó ampliar la participación de la sociedad brasileña en la definición de una política científico-tecnológica para el país. La 2ª. Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, realizada en 2001, enfatizó la importancia de la innovación tecnológica como instrumento para la competitividad pasando, inclusive, a agregar el término “innovación” en su nombre. ([www.cgee.org.br](http://www.cgee.org.br)).

## Bibliografía

- David C. Mowery y Nathan Rosenberg, *Trayectorias de la innovación: el cambio tecnológico en los Estados Unidos de América en el siglo XX*, Editora Unicamp, Campinas (2005).
- Erik S. Reinert, *Cómo los países ricos se hicieron ricos...y por qué los países pobres continúan pobres*, Editora Contraponto, Rio de Janeiro (2008).
- Luiz Antonio Elias, “Política de ciencia, tecnología e innovación 2003–2016”, *Teoria e Debate*, Rio de Janeiro (2017).
- Plan de acción en ciencia, tecnología e innovación: principales resultados y avances*, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Brasília (2010).
- Sergio M. Rezende, *Momentos de la ciencia y tecnología en Brasil: una caminata de 40 años por la C&T*, Editora Vieira&Lent, Rio de Janeiro (2010).
- Sergio M. Rezende, “Producción científica y tecnológica en Brasil: conquistas recientes y desafíos para la próxima década”, *RAE FGV-SP*, v. 51, n. 2, 202–209 (2011).
- Steven J. Markus (org.), *Inventando un futuro mejor*, InterAcademy Council, Rio de Janeiro (2005).

El papel de la

# Embrapa

en el desarrollo y en la sustentabilidad  
de la agricultura brasileña



**Antonio Flavio  
Dias Avila**

Agrónomo, doctor en economía rural, investigador de la Embrapa. El autor agradece a Roberto Penteado y Wilson Fonseca, editores del Balance Social de la Embrapa, y a los investigadores Elísio Contini y Alberto Santana por los comentarios y sugerencias.

Pesada inversión en recursos humanos, con amplio programa de pos-graduación en Brasil y en el exterior, explica el éxito de Embrapa, que hoy cuenta con 2.438 investigadores, 86% de ellos con doctorado. Se trata del mayor programa de capacitación en ciencias agrarias en los trópicos. Gracias a las inversiones en ciencia y tecnología agrícola, Brasil quintuplicó la producción de granos entre 1975 y 2017, mientras el área cultivada apenas duplicó. Hicimos mejoramiento genético de las principales culturas, incluyendo soya, trigo, frijol, maíz, algodón, arroz, frutas y hortalizas. Trabajo semejante mejoró la calidad de las carnes bovina, de pollo y porcina. Todo eso contribuyó tanto a la balanza comercial del país como a reducir los precios de los alimentos vendidos en el mercado interno.





## La creación de la Embrapa y su modelo

La propuesta de creación de la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa) fue aprobada por la Ley n° 5.851, de 7 de diciembre de 1972, y su instalación ocurrió el 26 de abril de 1973. Ella fue creada como empresa pública de derecho privado, en sustitución al Departamento Nacional de Pesquisa y Experimentación Agrícola (DNPEA), vinculado directamente al Ministerio de la Agricultura. La opción por el modelo de empresa pública – órgano de la administración indirecta – fue adoptada para dar mayor flexibilidad, efi-

ciencia y autonomía en relación al antiguo DNPEA, en especial para la captación de recursos y el manejo de recursos humanos y financieros (Cabral, 2005).

Luego fueron tomadas las medidas estructurales indispensables para el funcionamiento de la empresa, destacándose la creación del modelo institucional y de su sistema de planificación. También fueron definidas la estructura, las funciones y las atribuciones de sus unidades en el ámbito nacional, con sus tres tipos de centros de pesquisa (productos, temáticos y eco-regionales) y sus unidades de servicios. Quedó establecido su papel como unidad coordinadora

de los sistemas estaduais de pesquisa agropecuaria.

La implantación de la Embrapa contó con apoyo de los centros internacionales de pesquisa agrícola, vinculados al Consorcio CGIAR, y de agencias internacionales, como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación (FAO) y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), además del decisivo apoyo financiero por medio de préstamos del Banco Mundial (BIRD) y del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).



GILBERTO MARQUES/AZIMG

Dos iniciativas fueron fundamentales en la concepción institucional: la adopción de un modelo concentrado de pesquisa y la formación de recursos humanos. Otros componentes estuvieron presentes, como proximidad en relación al sector productivo, flexibilidad administrativa y financiera, transparencia y cooperación con otras organizaciones públicas y privadas. En ese contexto, la empresa buscó encaminar esfuerzos para productos y áreas importantes para suplir de alimentos a los brasileños. Experiencias anteriores, en el país y en el exterior, mostraban que la dispersión de recursos humanos y financieros en regiones,

productos y temas de pesquisa producían resultados limitados.

La Embrapa invirtió fuertemente en la capacitación de sus recursos humanos en los principales centros de excelencia en pesquisa agropecuaria, especialmente en el exterior. Ese entrenamiento trajo la necesaria capacidad institucional de formar redes internacionales de pesquisa, además de generar o adaptar tecnologías para el país y sus regiones. Todo eso llevó a Brasil al liderazgo mundial en el desarrollo de soluciones tecnológicas para la agricultura tropical (Embrapa, 2006).

### La cultura de planificación

Un elemento importante de la trayectoria de la Embrapa es el hecho de la institución haber cultivado, desde el inicio, una cultura de planificación que se consolidó con el tiempo. Eso fue fundamental para la empresa establecer prioridades en sus primeras décadas, tanto para contratar, formar y ubicar investigadores, como para modernizar y ampliar la infraestructura de laboratorios y áreas experimentales.

Además de los estudios que fundamentaron la creación de la Embrapa, durante las dos primeras décadas varios documentos orientaron el establecimiento de una programación sólida de pesquisa y desarrollo (P&D), teniendo como objetivo atender las demandas de la sociedad brasileña. En todos los documentos de planificación elaborados en ese período estaban presentes prioridades nacionales y regionales, esenciales para la implantación de la empresa.

En los últimos veinte años, esa cultura se consolidó con la adopción de un nuevo proceso de planificación estratégico, basado en estudios prospectivos y de escenarios. El primer estudio de escenarios para la pesquisa fue elaborado al final de la década de 1990 con la asesoría de la Fundación Instituto de Administración (FIA), de la Universidad de São Paulo (Ayres et al., 1990), esencial para la preparación del II Plan Director de la Embrapa (PDE), relativo al período 1993-1997 (Embrapa, 1994).

Al inicio de la década de 1990, la Embrapa, después de dos décadas de estudios centrados en estimativos de tasas de retorno, pasó a ser cuestionada, externa e internamente, sobre los otros tipos de impacto de su actuación, con acento para los ambientales y los sociales. Estas nuevas demandas surgieron, principalmente, a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (ECO 92), realizada en Rio de Janeiro, y de la diseminación en Brasil de un nuevo tipo de documento usado en la prestación de cuentas a la sociedad, denominado Balance Social, con foco en efectividad (uso/adopción e impactos de los resultados).

Al querer atender estas nuevas demandas socio-ambientales en el contexto del II PDE, la empresa decidió reformular su proceso de gestión del desempeño corporativo. En la segunda mitad de la década de 1990, desarrolló el Sistema de Evaluación y Premiación por Resultados de la Embrapa – SAPRE (Embrapa, 1996). Tal sistema innovó al introducir un proceso sistemático de evaluación, vinculán-

**Embrapa divulga una vez por año un balance social de su trabajo, con estudios de impacto económico, social, ambiental e institucional. Un sistema de planificación integrado abarca desde la formulación de estrategias a largo plazo hasta las agendas individuales de cada uno de los colaboradores.**

dolo al desempeño de los equipos y de los empleados y, por tanto, a los procesos de reconocimiento y recompensa, con énfasis para la premiación por resultados.

En el criterio eficacia, la evaluación del desempeño institucional de ese sistema incluyó un conjunto diversificado de indicadores, como cumplir metas estratégicas, captar recursos, mejorar procesos y racionalizar costos. Además de eso, fueron introducidos indicadores de evaluación de desempeño institucional basados en criterios de eficiencia (producción versus costos) y de efectividad (adopción e impactos). Desde entonces, los resultados de la evaluación de desempeño institucional pasaron a alimentar el proceso subsecuente de premiación de equipos y empleados, siendo determinantes para establecer el monto de recursos usado en la premiación de los colaboradores (Portugal et al., 1998).

Todavía en la década de 1990 surgió otro marco importante en la mejoría de la gestión: la decisión de la Embrapa de adoptar el Balance Social entre sus documentos anuales de prestación de cuentas y divulgación a la sociedad, con foco en los indicadores de efectividad (Embrapa, 2018a). Con la adopción del Balance Social, publicado una vez por año, los estudios de impacto, además de atender a las necesidades del SAPRE, pasaron a tener mayor visibilidad. Esta iniciativa contribuyó a estimular a los equipos y, sobre todo, a mejorar la calidad de las evaluaciones de las tecnologías generadas por la empresa.

En el contexto de esas innovaciones gerenciales de la década de 1990, resultado del SAPRE y del Balance Social, cabe aún destacar el esfuerzo, realizado en la década siguiente, para ampliar el alcance de las evaluaciones de impacto. Hasta entonces, ellas sólo destacaban los impactos económicos. En la primera mitad de la década de 2000 la institución

incorporó otros indicadores de efectividad en el proceso de evaluación de impacto (ambiental, social, institucional), pasando de un enfoque unidimensional para uno multidimensional, consolidado en metodología única, usada desde entonces como referencia en la empresa (Ávila et al., 2008).

La existencia de una cultura de planificación consolidada y de un sistema de evaluación y premiación por resultados, con el compromiso de elaborar anualmente su Balance Social, ha sido esencial para la Embrapa. Gracias a eso, se confirmó como una empresa de contenidos y soluciones requeridas por los acuerdos y las cadenas productivas de base agropecuaria, capacitada para atender los objetivos gubernamentales y sectoriales.

En 2014, el proceso de evaluación del desempeño fue reformulado. El Consejo de Administración (Consad) de la empresa estableció el modelo integrado de evaluación de desempeño institucional, programático y de equipos, denominado Integro, que entró en operación en 2015 (Embrapa, 2014a).

Procesos hasta entonces tratados de manera independiente fueron integrados: gestión de planes estratégicos, desempeño institucional, programación de pesquisa y de soporte, gestión de personas y de los procesos de reconocimiento y recompensa, monitoreo de la adopción y evaluación de impactos. Gracias al Integro, hoy la Embrapa consigue gerenciar su planificación corporativa, desde la formulación de la estrategia hasta la ejecución de las agendas individuales de cada uno de sus colaboradores.

En la misma época, el contexto institucional y la multiplicidad de temas abarcados impulsaron que la empresa construyese un sistema de inteligencia estratégica, el Agropensa, que organiza y permite analizar datos e informaciones relevantes para la pesquisa agropecuaria.

El principal producto de esta iniciativa fue la elaboración del documento “Visión 2014/34: el futuro del desarrollo tecnológico de la agricultura brasileña” (Embrapa, 2014b). Esta iniciativa se extendió en la publicación de otro documento similar, denominado “Visión 2030: el futuro de la agricultura brasileña” (Embrapa, 2018b).

Este nuevo proceso de inteligencia, liderado por el Agropensa, permitió fundamentar mejor los planes estratégicos de la empresa. El VI Plan Director de la Embrapa (PDE) fue montado en base al primer documento Visión. El mismo deberá incidir en la actualización del VII PDE, en 2019, a partir de la reciente publicación del documento Visión 2030.

La gran innovación en el actual proceso de planificación estratégica de la Embrapa es su gestión integrada, que en los últimos años está vinculada a la programación de pesquisa, desarrollo e innovación (PD&I) y a acciones de gestión y soporte. Respalda en modernos instrumentos de gestión de la información y enteramente gerenciada en la lógica de la transformación digital, la Embrapa alcanzó un nuevo escalón en la gestión de la estrategia y del desempeño corporativo.

Esa amplia integración de procesos, consecuencia de su modelo de gestión de desempeño (Integro), aliada a otras mejoras introducidas en los demás instrumentos de gestión (Ideare/Sisgp, gestión de proyectos, y Gestec, gestión de activos tecnológicos, entre otros), resultó en ganancias sustanciales de eficacia, eficiencia y efectividad tanto institucional (unidades) como programática (macro-programas, portafolios y acuerdos),<sup>1</sup> sobre todo de sus equipos y colaboradores.

El monitoreo integrado de la planificación y del desempeño, hecho en todas las instancias de la empresa, ha asegurado que la administración superior y todos los gestores tengan una visión clara del

papel y de las contribuciones de cada uno en la planificación corporativa y, por tanto, la atención de las demandas formuladas en el plan estratégico. El desempeño de la empresa en los últimos años, detallado en los informes de prestación de cuentas sometidos a los órganos de control, como el Informe de Gestión, confirma el éxito de esa gestión integrada de la estrategia y del desempeño.

## Recursos humanos e infraestructura

Uno de los mayores desafíos enfrentados por la Embrapa, especialmente en su primera década de existencia, fue superar las variadas limitaciones señaladas por el

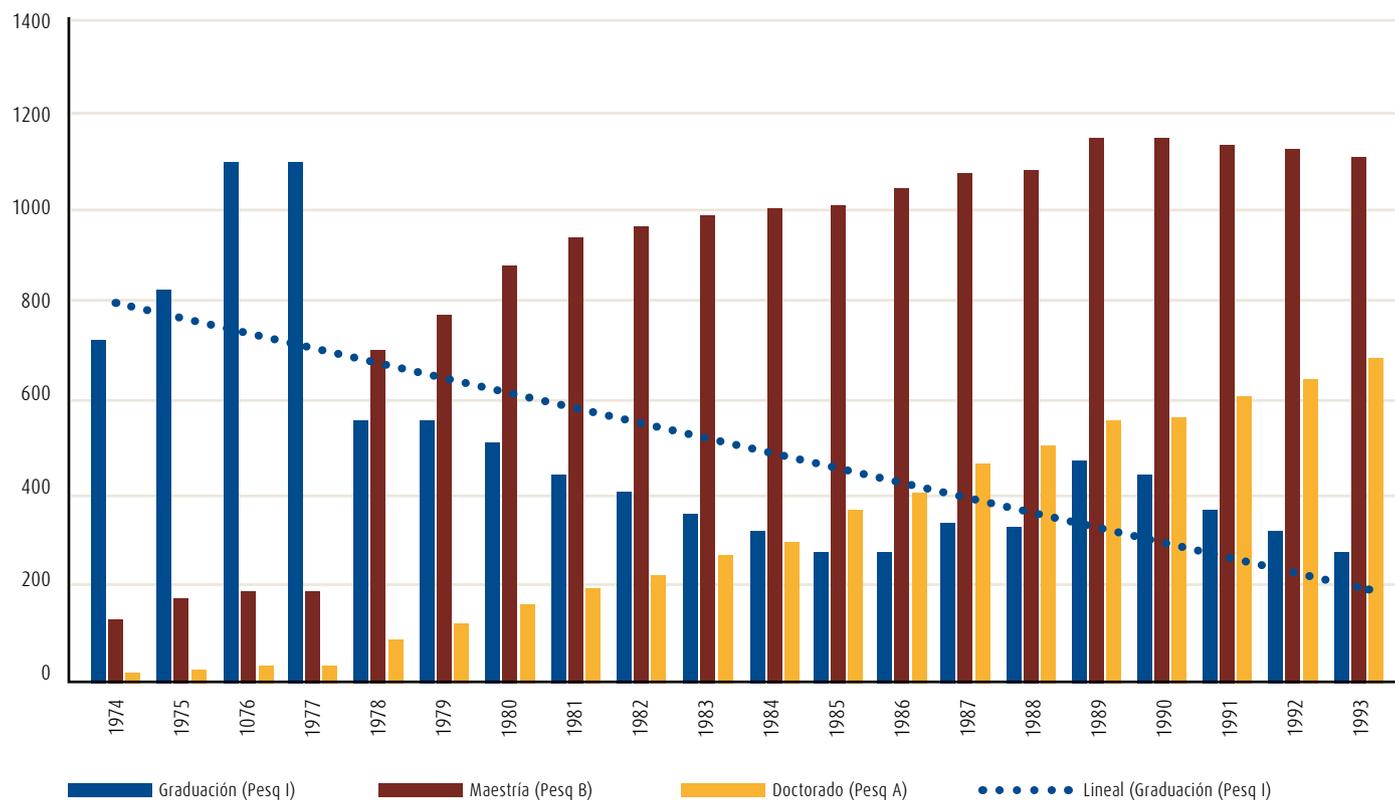
grupo de trabajo que evaluó la situación de la pesquisa agropecuaria en el marco del DNPEA y propuso la creación de la nueva empresa. En esa época, entre las cuestiones prioritarias estaba el tema de los recursos humanos. Había una escasez acentuada de personal con perfil de liderazgo y de servidores con entrenamiento especializado, principalmente en cursos de pos-graduación. Además de eso, no existía una política salarial atractiva para el personal involucrado con pesquisa agropecuaria (Embrapa, 2006).

En este contexto, gracias al fuerte apoyo financiero del gobierno federal, incluyendo préstamos internacionales del Banco Interamericano y del Banco Mundial, la Embrapa implantó un am-

plio programa de capacitación a nivel de pos-graduación, en Brasil y en el exterior, involucrando a las mejores universidades del mundo en ciencias agrarias y sociales. El programa fue un éxito. Enseguida permitió invertir las estadísticas sobre la formación de los investigadores, que a mediados de la década de 1970 se caracterizaba por el pequeño número de pos-graduados.

Conforme los datos presentados en la Figura 1, la situación de los recursos humanos de la Embrapa se invirtió completamente en veinte años. Al inicio de la década de 1990 ya predominaban investigadores con maestría y se evidenciaba un crecimiento expresivo de investigadores con doctorado.

**Figura 1 | Evolución de la formación académica de los investigadores de la Embrapa - 1974-1993**



Este proceso prosigue hasta hoy, enfocado en la formación de doctores y de pos-doctores. Actualmente, 45 años posteriores a su creación, la empresa cuenta con 2.438 investigadores, de los cuales 86,3% con doctorado y otros 13% con maestría.

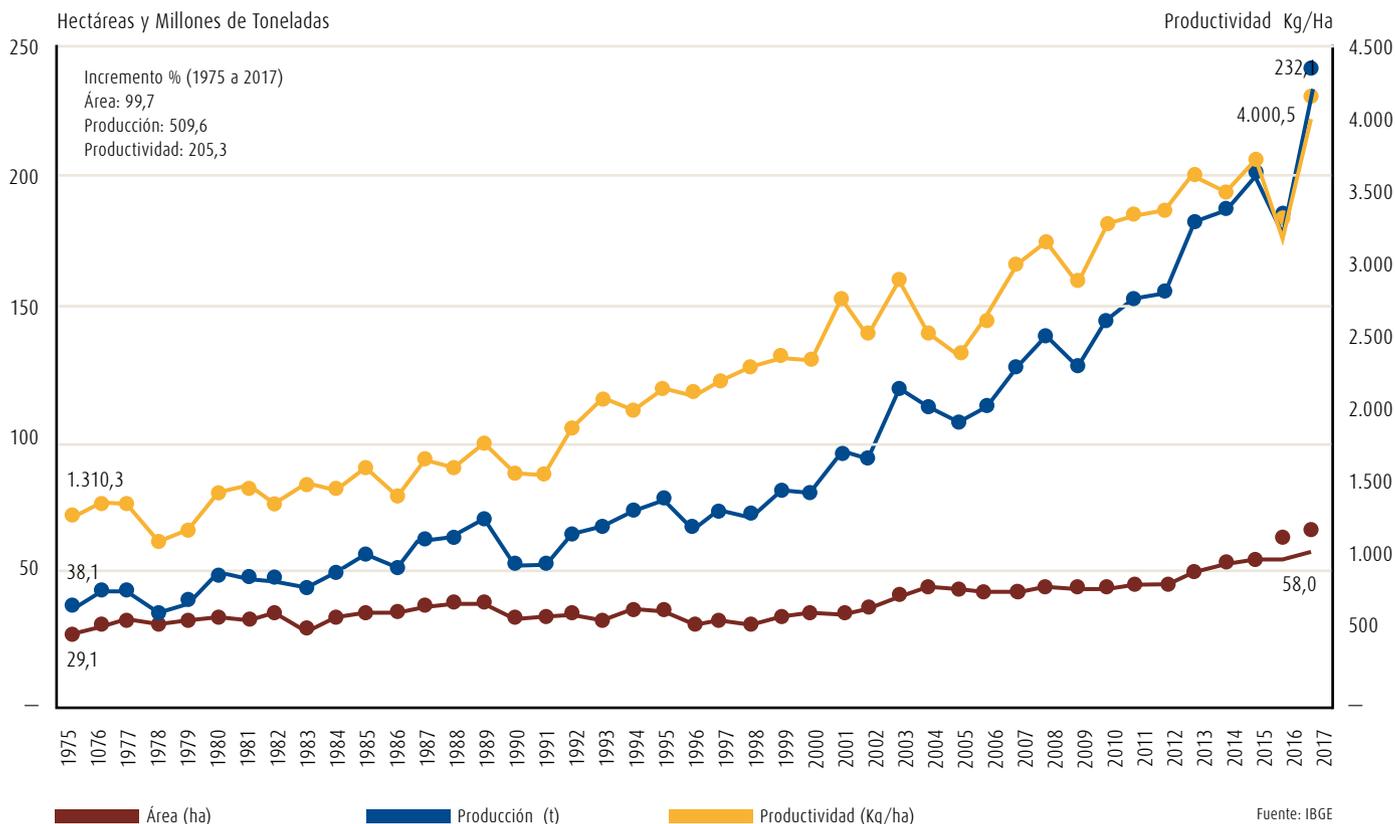
Esta decisión estratégica, de invertir fuertemente en la formación de investigadores, creó el mayor programa de capacitación en ciencias agrarias en los trópicos. El programa fue decisivo para que la Embrapa asumiese la actual posición de líder de la pesquisa agropecuaria en agricultura tropical, entre los países en desarrollo.

Paralelamente a las inversiones en recursos humanos, la Embrapa invirtió en la implantación y modernización de la infraestructura de pesquisa, inicialmente también muy limitada. Gracias a préstamos suministrados por el Banco Interamericano y el Banco Mundial, aliados a fuertes contrapartidas del gobierno federal, fue instalada una amplia red de centros de pesquisas.

Más recientemente, otras fuentes de financiamiento han apoyado la empresa en el perfeccionamiento de centros y laboratorios, tanto para evitar la obsolescencia tecnológica, como para mantener el patrón internacional de calidad de sus pes-

quisas. Se destacan en ese contexto el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP), el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) y las fundaciones estatales de fomento a la pesquisa. Cabe citar también el gran volumen de recursos del Tesoro Nacional, liberados para modernizar laboratorios y crear nuevos centros de pesquisa en regiones de frontera (Mato Grosso, Tocantins y Maranhão) y en el área de pesquisa en agroenergía. Esta inversión se concentró en el período 2008-2012 y fue llamado de PAC Embrapa.

**Figura 2 | Evolución de la producción, del área y de la productividad de los granos en Brasil**



## La evolución de la productividad y sus impactos

En el análisis de esta trayectoria, uno de los hechos marcantes ha sido el papel central de la Embrapa en el crecimiento de la productividad de la agricultura brasileña. Gracias a las inversiones hechas en C&T por el gobierno federal, Brasil quintuplicó la producción de granos en el período 1975-2017, mientras el área cultivable crecía poco más de 100% (Figura 2).

En la producción de granos, lo más destacado, sobre todo en las primeras décadas de actuación de la Embrapa, fue la contribución al mejoramiento genético de las principales culturas, en espe-

cial soja, trigo, frijol, maíz, algodón y arroz. Este trabajo, realizado en asociación con organizaciones estatales de pesquisa agropecuaria y con el sector privado, generó ganancias de productividad no sólo en granos y fibras, sino también en frutas y hortalizas. Estas ganancias pueden verse en el vertiginoso crecimiento observado en los últimos cuarenta años. Ellas colocaron a Brasil entre los mayores *players* en el mercado mundial de *commodities* agrícolas.

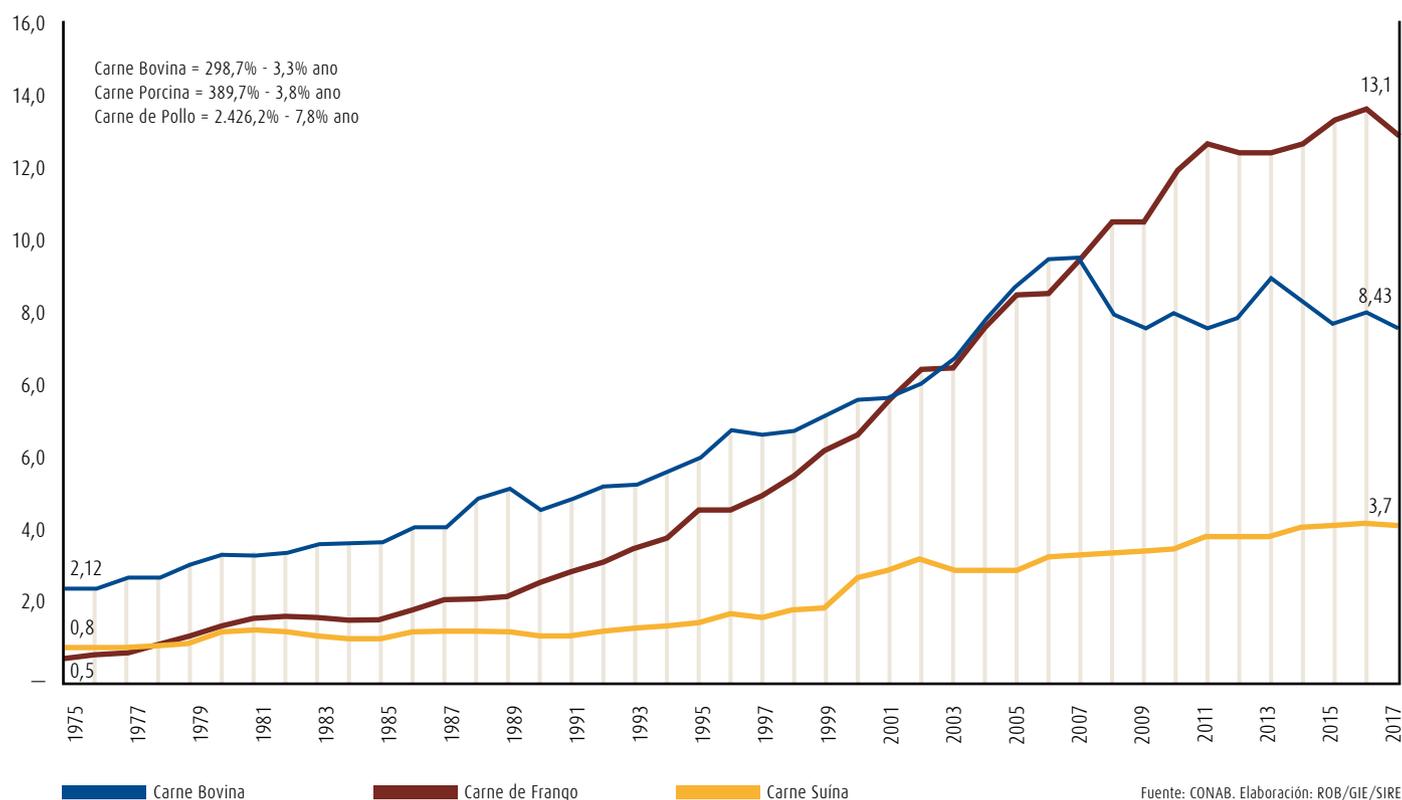
Ese crecimiento exponencial también ocurrió en el área de carnes bovina, de pollo y porcina, en el mismo período, como muestra la Figura 3. Los números demuestran altas tasas de crecimiento en la producción, con valores anuales supe-

riores a 3% en las carnes bovina y porcina y de cerca de 8% al año en la producción de carne de pollo.

Las ganancias en el sector de carnes y derivados se reflejan en la balanza comercial del país. En la última década, los superávits anuales han superado los US\$ 70 billones, fuertemente asociados a las altas inversiones en C&T en la pecuaria nacional. Las principales contribuciones tecnológicas de la Embrapa ocurrieron en nutrición, sanidad animal y manejo.

Este expresivo crecimiento de la producción y de la productividad de la agricultura y de la pecuaria, verificado a lo largo de las últimas décadas, tuvo un impacto agregado importantísimo para la sociedad brasileña, con la reducción

**Figura 3 | Evolución de la producción de carne bovina, de pollo y porcina en Brasil**



## Obtenida por mejoramiento convencional o por biotecnología, la biofortificación de alimentos aumenta el contenido nutricional de micronutrientes, como vitamina A, zinc y hierro, en cultivos de frijol, yuca y maíz.

en los precios de la canasta básica, como aparece en la Figura 4.

Caso se mantuviese la situación de escasez y de importación de alimentos vivida por Brasil en las décadas de 1960 y 1970, los precios de los alimentos estarían hoy en un escalón mucho más elevado. Aunque esa reducción no se deba sólo a la actividad de pesquisa — pues hubo otros actores importantes en el proceso —, es posible afirmar que parte expresiva de esos beneficios sociales puede atribuirse a las soluciones tecnológicas generadas por la Embrapa y sus socios. Las asociaciones internacionales están estrechamente vinculadas a la capacitación recibida por nuestros investigadores en las mejores universidades del mundo, además de la cooperación científica inherente al área de P&D.

## Casos de suceso de la Embrapa

Innumerables casos de éxito marcan la trayectoria de la Embrapa en los últimos 45 años. Tal vez el mayor de ellos haya sido la incorporación del Cerrado a la economía brasileña. En el portal de la institución en Internet hay una vasta documentación de sus principales contribuciones.<sup>2</sup> Destacaremos algunas, especialmente las que han generado mayores impactos y constan anualmente en el Balance Social de la Empresa (Embrapa, 2017, 2018b). También serán destacadas las contribuciones de la Embrapa a la formulación de políticas públicas.<sup>3</sup>

### Logros en PD&I

La Embrapa ha hecho contribuciones relevantes en pesquisa agroindustrial, entre las cuales se destaca la mejora en la calidad de los productos relacionados con la biofortificación de alimentos, proceso usado para aumentar el contenido nutricional de micronutrientes, como vitamina A y minerales específicos (zinc y hierro). Esos aportes nutricionales, introducidos en siembras que los productores ya usan, como frijol, yuca y maíz, son obtenidos tanto por el mejoramiento convencional de plantas como por la biotecnología.

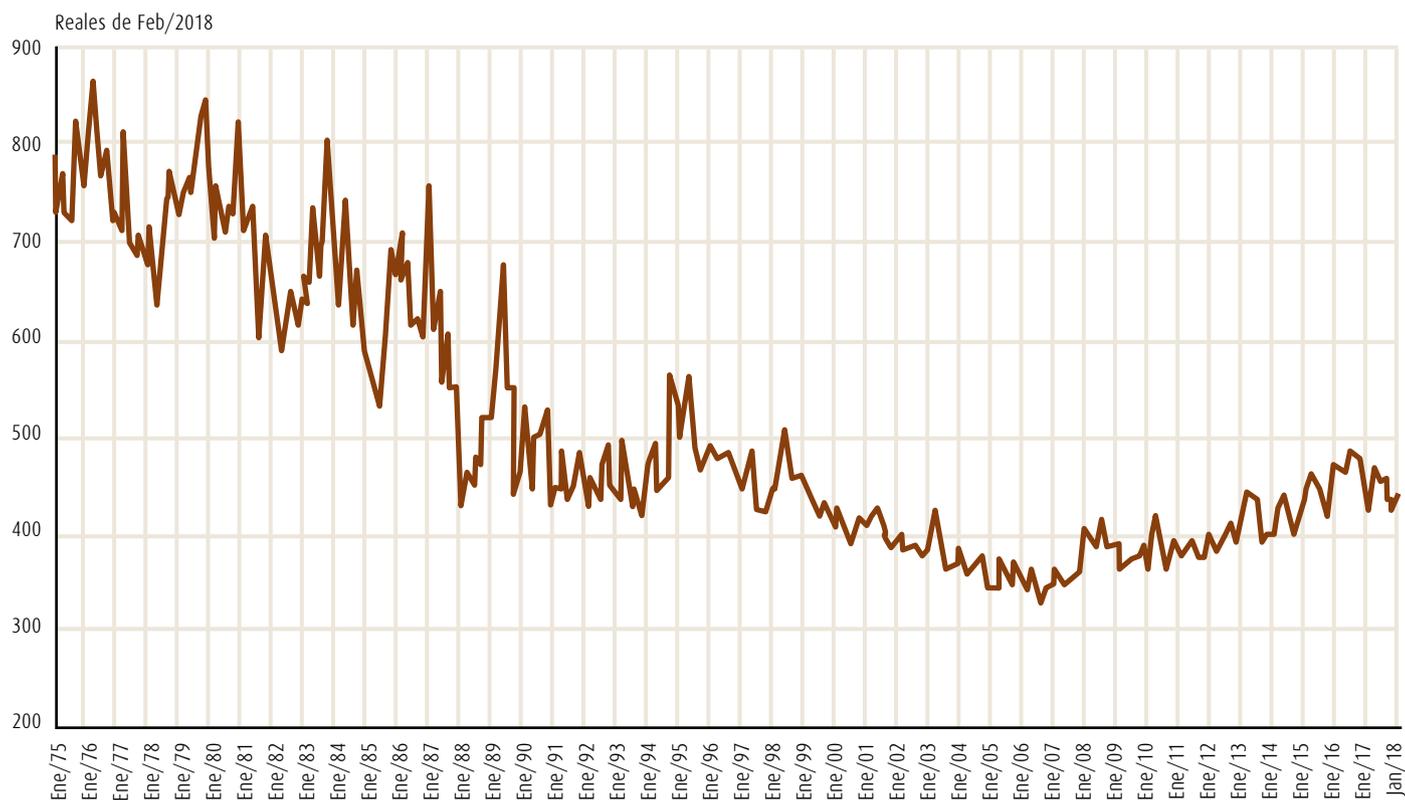
En la pesquisa con fibras merece destacarse la contribución de la Embrapa a los productores de algodón, con el aporte de nuevas variedades en uso en las regiones aldoneras del país, en especial en el estado de Mato Grosso. Otro logro fue la disponibilidad de siembras de algodón coloreado, que presentan tonalidad variada, propiciando que pequeños productores, especialmente en el Nordeste, agreguen valor a la producción. Además de eso, la tecnología genera renta para la industria textil y contribuye para que minoristas oferten artículos diferenciados de vestuario y moda.

Por medio de la pesquisa y de la adopción del manejo forestal sustentable, Brasil ha contribuido fuertemente a modificar la explotación tradicional y predatoria de sus bosques. En este caso, la Embrapa también ha colaborado para que el sector alcance elevados niveles de productividad con sustentabilidad. Entre los ejemplos de esa contribución se encuentra el Modeflora, un sistema capaz de suministrar la localización exacta de los árboles en su ambiente, con la presentación de detalles del relieve y de la hidrografía, además de otras informaciones esenciales para el manejo correcto del bosque. En esta misma línea han sido desarrollados aplicativos de manejo y gerenciamiento de plantíos forestales en apoyo a productores y técnicos de todo Brasil.

La Embrapa también ha participado decisivamente en la generación de innovaciones tecnológicas en fruticultura. Entre las diversas contribuciones está el intenso trabajo de domesticación de especies nativas, como el guaranaceiro, con aportes importantes en términos de producción y de resistencia a las enfermedades. En la producción de marañón, el desarrollo de nuevos clones de marañón-anón precoz posibilitó viabilizar económicamente la producción, aún en condiciones adversas de clima.

Otro ejemplo marcante en el área de fruticultura fue la disponibilización de tecnologías que posibilitaron a Brasil producir uvas hasta en el Semiárido y recoger dos cosechas de mango. También merece destacarse el tratamiento hidro-térmico del mango, que generó ganancias de más de R\$ 1,4 billón en exportaciones en los últimos 25 años.

En la producción de hortalizas, cuyo mercado es bastante diversificado, la Embrapa contribuyó a mejorar los sistemas de producción de las principales

**Figura 4 | Precio de la canasta básica en el municipio de São Paulo (Reales de Feb/2018\*)**

Fuente: Dieese. Elaboración: ROB/GIE/SIRE \*Valores corregidos por el IGP-DI

especies – papa, tomate, melón, lechuga, cebolla y zanahoria – en que la agricultura familiar es responsable por más de la mitad de la producción. Consciente de su papel en este segmento, la institución también desarrolló una nueva variedad de tomate-cereza, la BRS Zamir, con alto contenido de licopeno, que ya está presente en 10% del área plantada de esa variedad en Brasil. Además de eso, introdujo en el país una técnica china de producción de champiñones cultivados por pequeños agricultores, con importantes impactos positivos en su producción y consumo en el país.

En el área de granos hubo un crecimiento expresivo de la producción y de la productividad. La Embrapa y sus

socios tuvieron participación decisiva en el mejoramiento genético de las variedades de los principales granos producidos en el país – arroz, frijol, maíz, soya, trigo y sorgo –, en el perfeccionamiento de los sistemas de control de plagas y enfermedades y en la generación de nuevas y más eficientes prácticas de manejo. A título de ejemplo, cabe resaltar el papel decisivo de la pesquisa de la Embrapa en la producción de soya en áreas tropicales, antes limitada a las regiones templadas. Más recientemente, surgieron significativos e innovadores beneficios en la producción de trigo, con la generación e introducción de variedades adaptadas a las condiciones del Cerrado. Otra contribución relevante de la Embrapa es en la gene-

ración de variedades de cebada, adoptadas por la mayoría de los productores brasileños.

La empresa ha buscado contribuir al incremento de la producción de alimentos con responsabilidad ambiental. Se destacan las tecnologías generadas para reducir el uso de agroquímicos, como el manejo integrado de plagas y el uso del control biológico, como los bio-pesticidas que combaten plagas del maíz sin afectar el ambiente. En la misma línea, han sido disponibilizadas variedades más resistentes al déficit hídrico, como el clon de marañón resistente a la sequía, que ha propiciado substanciales aumentos de renta en el Semiárido de Piauí.

También para conciliar producción de alimentos y perspectiva ambiental,

la empresa viene utilizando nuevas prácticas de manejo, sustentables, a disposición de los productores, como aquellas de producción de la castaña de brasil en bosques naturales de la Amazonia.

Además de propiciar la conservación del ambiente, las tecnologías de la Embrapa han mejorado las condiciones de vida de los productores, especialmente los más pobres, con saneamiento básico. Este es el caso de la fosa séptica bio-digestora, que une beneficios ambientales y retornos económicos robustos. En el contexto del Semiárido se destacan las tecnologías que permiten mejor convivencia con la sequía, como es el caso de las cisternas y tecnologías afines.

Uno de los sucesos en términos de innovación tecnológica ha sido la pecuaria brasileña. Hubo

una intensa modernización del sector, con incremento de la producción y de la productividad en bases sustentables. Además de la Embrapa, muchas instituciones producen innovaciones para la pecuaria – en genética, en la nutrición y en el control de plagas y enfermedades. Ellas han aumentado el disfrute del rebaño bovino de corte. La contribución de la empresa fue más decisiva en algunas áreas, como en el caso de los pastos: cinco de sus variedades de forrajes son responsables por casi 80% del mercado nacional, transformando Brasil en el mayor exportador de semillas forrajeras tropicales del mundo.

Las pesquisas de la Embrapa también contribuyeron a desarrollar animales con menor porcentaje de grasa, que hoy representan el patrón del rebaño nacional. To-

avía en lo tocante a la pecuaria, se destaca la duplicación de la producción anual de leche en los últimos veinte años. Este aumento ocurrió no sólo con la expansión del rebaño, sino también con el incremento de la productividad, gracias a la incorporación de nuevas tecnologías.

En este contexto de mejoría del proceso de producción, una de las grandes contribuciones de la empresa fue el sistema integrado de producción de granos, pecuaria y bosques (ILPF), desarrollado en las décadas de 1980 y 1990 para integrar pecuaria y granos. Habiendo incorporado el componente forestal a partir de 2000, en 2016 la nueva técnica ya era adoptada en 11,5 millones de hectáreas (Embrapa 2017) y hoy supera los 15 millones de hectáreas según la red ILPF.



**Los biopesticidas combaten las plagas del maíz sin afectar el ambiente, mientras nuevos cultivos hacen al cajú más resistente a la sequía, expandiendo su presencia en el Semiárido nordestino.**

### Transferencia de tecnologías y conocimientos

Las tecnologías de la Embrapa llegan hasta los extensionistas y productores rurales por intermedio de diversas iniciativas, que abarcan días de campo y caravanas por todo Brasil.

Elas abarcan temáticas amplias, con componentes complementarios en las áreas de validación y transferencia de tecnología, además de contemplar el fortalecimiento de asociaciones interinstitucionales, la capacitación de profesionales como multiplicadores y captadores de recursos, y la transmisión de programas de radio y televisión.

Todavía en el marco de la transferencia de conocimientos, en su portal en Internet la Embrapa garantiza acceso abierto a la información, como el Acceso Libre a la Información Científica de la Embrapa (Alice), que es el octavo más accedido entre los 51 bancos científicos brasileños. Otra estrategia ha sido la elaboración y trasmisión, por los medios, de videos técnicos y programas como el Prosa Rural, difundido gratuitamente en más de 9 mil radios en el país, y el programa Día de Campo en la TV, cuya audiencia alcanza 5,7 millones de telespectadores.

En la misma línea, Schulz (2018), profesor de la Unicamp, señala a la Embrapa como la 11ª del ranking de las 144 instituciones gubernamentales brasileñas en producción científica. En el caso de las menciones por artículo, el mismo autor destaca que la Embrapa presentó una media de 11,27, en el período 2009–2013, resaltando la importancia de las asociaciones in-

ternacionales, en especial aquella con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que tiene un promedio de 42,42 citas por artículo.

### Participación en la formulación de políticas públicas

En adición a los aportes tecnológicos citados y a su actuación en la transferencia de tecnología, la Embrapa ha participado en la formulación e implementación de leyes, decretos, instrucciones normativas, planes y programas en los ámbitos internacional, nacional, regional, estadual y municipal. Tal participación, recientemente documentada por la empresa y publicada en los Balances Sociales de 2014 y 2015, evidenció contribuciones en más de un centenar de políticas públicas, demostrando que el impacto del trabajo va mucho más allá de los efectos de tecnologías en el aumento de la productividad, en la generación de empleos, en la disminución de costos o en la agregación de valor en los sectores productivos, tradicionalmente medidos.

Entre las contribuciones más recientes de la Embrapa a las políticas públicas se encuentran: (a) el Plan de Agricultura de Bajo Carbono para reducir la emisión de gases de efecto invernadero por el sector agropecuario (Plano ABC); (b) el Sistema de Control de la Pesca, dirigido hacia la sustentabilidad del Pantanal; (c) el Sistema de Licenciamiento Ambiental, que agiliza la atención en los estados, inclusive en lo que dice respecto a las exigencias del nuevo Código Forestal; (d) la Política Pública de Integración Agricultura-Pecua-

ria-Forestal (ILPF); (e) la Delimitación del Matopiba,<sup>4</sup> que abrió camino para implantar políticas públicas en la región; y (f) el Zonamiento Agrícola de Riesgo Climático (Zarc).

### El lucro social de la Embrapa

Aunque produzca bienes y servicios privados, pasibles de venta en el mercado, la principal función social de la Embrapa es generar bienes y servicios de carácter público. Los beneficiarios no pagan por las ventajas que reciben por usarlos, al contrario de lo que sucede con la pesquisa privada.

Las instituciones públicas, especialmente aquellas dedicadas a la pesquisa agropecuaria, como la Embrapa, pueden generar lucros con la venta de productos (semillas, posturas, animales, etc.), servicios (análisis de laboratorio y de suelo, mapas, etc.) o también patentes (equipamientos, máquinas, etc.), pero ellos sólo cubren una pequeña parte de los costos.

Cuando es analizada bajo la perspectiva contable y financiera, esa ausencia de lucro a veces es interpretada como perjuicio. Pero ella es contrabalanceada por los beneficios sociales que esas instituciones propician. Hay lucro social en la medida en que bienes y servicios generados por instituciones de ciencia y tecnología son adoptados con éxito por clientes y usuarios, con los beneficios económicos, sociales y ambientales asociados. Con ese saldo positivo, una eventual dependencia del Tesoro Nacional o Estadual es ampliamente compensada.

Este concepto de lucro social, usado por la Embrapa en la elaboración de su Balance Social desde 1997, se refiere a los beneficios socioeconómicos generados anualmente, comparados con la ganancia operacional líquida de la empresa. La estimativa procede del acompañamiento y la medición de los impactos de una muestra de bienes y servicios públicos colocados a disposición de la sociedad. Ese monitoreo continuo y sistemático de los impactos ya dura más de dos décadas y muestra saldos sociales positivos todos los años. Por medio de él, la Embrapa ha demostrado que cumple su función social.

Desde la década de 1980 la Embrapa realiza estudios para estimar los retornos sociales de su actuación, o sea, los impactos económicos generados por la adopción de sus tecnologías, productos y servicios (renta adicional líquida generada). Al inicio, esos estudios procuraron estimar la tasa interna de retorno de las inversiones realizadas, relacionándose los beneficios económicos en cierto período con los costos de las tecnologías generadoras de tales beneficios (Avila et al, 2005, por ejemplo). A partir de los estudios iniciales, decenas de trabajos fueron realizados en las décadas de 1980 y 1990, involucrando a técnicos de la propia Embrapa y a los consultores, nacionales e internacionales. Los resultados obtenidos indicaron tasas de retorno del orden de 30% a 40%, evidenciando que los recursos aplicados en la empresa fueron compensadores para la sociedad brasileña. Las tasas son similares a los resultados de estudios de evaluación del retorno de las inversiones en pesquisa agropecuaria realizados en otras partes del mundo (Alston et al., 2000).

Con la publicación del Balance Social, elaborado a partir de metodología difundida por el Instituto Brasileño de Análisis Sociales y Económicos (Ibase) a partir de 1997, la Embrapa pasó a monitorear los impactos de una muestra de 115 tecnologías incorporadas a las cadenas productivas de la agricultura brasileña, así como de variedades generadas por ella y sus socios y usadas por los productores, sobre todo en los casos del algodón, arroz, frijol, maíz, soya y trigo.

**Diversas iniciativas, que abarcan radio, televisión, internet, días de campo y caravanas, llevan las tecnologías de Embrapa hasta los extensionistas y productores rurales, alcanzando millones de usuarios en todas las regiones del país.**

Ese monitoreo de beneficios y costos, pionero en el mundo en instituciones de C&T, ha permitido a la empresa estimar su lucro social (impactos económicos más los valores de los indicadores sociales y laborales) en cada año y relacionarlo a su rendimiento operacional anual.

Los resultados más recientes, publicados en el Balance Social de 2017, demuestran un lucro social de R\$ 37,18 billones. Cuando se relaciona tal lucro con el rendimiento operacional líquido de la Embrapa, la relación es de 11,06. Esto indica que, considerando apenas el rendimiento anual y los beneficios sociales en una muestra de soluciones tecnológicas disponibilizadas para la sociedad, el retorno anual fue superior a once veces la inversión.

Cuando se usa el indicador tradicional de análisis de rentabilidad de inversiones, que es la tasa interna de retorno (TIR), los resultados también evidencian alto retorno social. Alcanzó 36,1% la TIR estimada con base en la serie temporal de beneficios económicos de los productos de la Embrapa. Esta tasa de retorno social se refiere a los retornos medios de las inversiones realizados en la generación de tecnologías monitoreadas y evaluadas desde 1997.

Además del lucro social, hay otras formas de medir la contribución de la Embrapa a la sociedad. En su misión de generar y diseminar conocimiento, la empresa se destaca como la octava institución brasileña en volumen de producción científica, según la base de datos internacional Web of Science. Además de eso, los artículos científicos producidos por la Embrapa recibieron más de 33 mil citas en los últimos cinco años, lo que evidencia sus impactos en el avance del conocimiento.

Otra evidencia de impacto puede ser constatada en las publicaciones técnico-científicas disponibilizadas por la Embrapa en Internet. En 2017, los controles de acceso a sus fuentes registraron 24,5 millones de *downloads*, realizados principal-

mente por agentes públicos y privados de asistencia técnica y extensión rural y por productores rurales. Considerando el período de 2011 a 2017, el total de *downloads* de publicaciones de la empresa alcanzó 74,9 millones.

En relación al medio ambiente, son varias las contribuciones relevantes de la empresa en los últimos años, gracias a la adopción de sus tecnologías. Tomando en consideración apenas los casos más emblemáticos, que hacen parte del Programa Agricultura de Bajo Carbono (ABC) – la adopción de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) en la cultura de la soya y el sistema integrado de producción agricultura-pecuaria-forestal (ILPF) –, la reducción de las emisiones de carbono en la zafra 2016-2017 fue del orden de 65 millones de toneladas de carbono equivalente, con la FBN contribuyendo con 30 millones y el ILPF con 35,1 millones (Embrapa, 2018a).

Caso sean incluidas otras tecnologías que forman parte del Programa ABC, como la recuperación de pastos degradados y el sistema de plantío directo, esos beneficios ambientales son todavía mayores. Las tecnologías de la Embrapa y de sus socios generan impactos ambientales positivos, contribuyendo a que Brasil supere en gran escala los compromisos internacionales asumidos en la Conferencia de las Partes (COP), que es el órgano supremo en el marco de la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), para reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Hay innumerables evidencias, medidas y documentadas de diversas formas, de que la Embrapa es un caso de éxito en la administración pública brasileña, considerándose los impactos económicos, sociales y ambientales. La institución cumple la función de generar bienes públicos que compensen las inversiones que recibe. ■

## Notas

1. Los macro-programas, portafolios y acuerdos son figuras programáticas que han sido usadas por la Embrapa para agrupar sus proyectos de pesquisa, desarrollo e innovación.
2. - <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira?link=acesso-rapido>.
3. - <http://bs.sede.embrapa.br>.
4. Acrónimo de las iniciales de los estados de Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) y Bahía (BA).

## Referencias

- ALSTON, J. M.; CHAN-KANG, C.; MARRA, M. C.; PARDEY, P. G.; WYATT, T. J. "A meta-analysis of rates of return to agricultural R&D: ex pede herculem?" Washington, DC: International Food Policy Research Institute, c2000. 148p. (Research Report, 113).
- AVILA, A. F. D.; MAGALHÃES, M. C.; VEDOVOTO, G.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, G.S. "Evaluación de los impactos de las tecnologías generadas por la Embrapa". *Revista de Política Agrícola*. v. 15, p. 86 -101, 2005.
- AVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G.S.; VEDOVOTO, G. Evaluación de los impactos de tecnologías generadas por la Embrapa: metodología de referencia. Brasília, DF: Embrapa Informacion Tecnológica. 2008, 189p.
- CABRAL, J. I. Sol de la mañana: memoria de la Embrapa. Brasília, Unesco, 2005. 344p.
- AYRES, C.H.S.; ARAÚJO, J.D.; PAEZ, M.L.A. (Ed.) Escenarios para la pesquisa agropecuaria: aspectos teóricos y aplicación en la Embrapa. Brasília: Embrapa. Secretaría de Administración Estratégica, 1990. 153p.
- \_\_\_\_\_. Secretaría de Administración Estratégica. II Plan Director de la Embrapa: 1994-1998. Embrapa/SEA, Brasília, DF, 1994, 51 p.
- \_\_\_\_\_. Gabinete del Presidente. Resolución Normativa N° 50/96: manual del sistema de evaluación y premiación por resultados. Embrapa, Brasília, DF. 1996 (Boletín de Comunicaciones Administrativas. BCA - No. 59/1996).
- \_\_\_\_\_. Sugerencias para la formulación de un sistema nacional de pesquisa agropecuaria. Memoria Embrapa: Edición Especial. Brasília, DF: Embrapa Información Tecnológica. 2006. 122p.
- \_\_\_\_\_. Gabinete del Presidente. Resolución del Consejo de Administración N° 145: manual de normas de la Embrapa – modelo integrado de gestión de desempeño de la Embrapa: institucional, programático y de equipos. EMBRAPA, Brasília, DF. 2014a (Boletín de Comunicaciones Administrativas. BCA - No. 35/2014).
- \_\_\_\_\_. Visión 2014-34: el futuro del desarrollo tecnológico de la agricultura brasileña. Brasília, DF: Embrapa, 2014b. 194p.
- \_\_\_\_\_. Secretaría de Gestión y Desarrollo Institucional. VI Plan Director de la Embrapa: 2014-2034. Embrapa/SEA, Brasília, DF, 2015, 24 p.
- \_\_\_\_\_. Balance Social 2016. Brasília, DF: Embrapa, Secretaría de Desarrollo Institucional, 2017. 54p.
- \_\_\_\_\_. Balance Social 2017. Brasília, DF: Embrapa, Secretaría de Desarrollo Institucional, 2018a. 48p.
- \_\_\_\_\_. Visión 2030: el futuro de la agricultura brasileña. Brasília, DF: Embrapa, 2018b. 212p.
- PORTUGAL, A. D.; AVILA, A. F. D.; CONTINI, E.; SOUZA, G. S. "Sistema de evaluación y premiación por resultados de la Embrapa". *Revista del Servicio Público*. Brasília, DF. v. 49, n. 3 p.59 - 83, 1998.
- SCHULS, P. "Embrapa, los números antes del carro!" *Jornal Unicamp*, edición Web. 26/10/2018 (<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/peter-schulz/embrapa-os-numeros-antes-do-carro>).

# La contribución de la Marina de Brasil

Nuevos materiales, aleaciones especiales, control del espectro electromagnético y dominio de la tecnología de enriquecimiento de uranio son algunos desafíos científicos y tecnológicos que la Marina enfrenta, en estrecha colaboración con universidades y empresas. Todo eso compone un sistema extenso y complejo, que a todos beneficia. Está en fase de detalle el proyecto del primer submarino brasileño movido por propulsión nuclear, construido en asociación con Francia. Políticas de ciencia y tecnología, y de defensa, son inseparables.



## Introducción

A lo largo de su historia, la Marina de Brasil ha reconocido el valor estratégico de la ciencia, la tecnología y la innovación (CT&I) para la defensa y usado tales instrumentos para su perfeccionamiento táctico y operacional con intensidad cada vez mayor. La evolución en el uso sistemático de CT&I para la capacitación de personal, el desarrollo de equipamientos y la obtención de medios de empleo naval y de fusileros navales llevó a la formulación de la “Estrategia de

ciencia, tecnología e innovación de la Marina (EMA 415)”.

La elaboración de esa estrategia se valió del análisis de las estrategias nacionales de CT&I de los Estados Unidos, de Francia y de Brasil, así como del estudio de varios documentos definidores de políticas públicas, como la “Estrategia Nacional de Defensa (END 2016)”, por ejemplo. Las informaciones así obtenidas convergieron para definir un modo de actuación en CT&I, basado en el modelo de hélice triple,<sup>1</sup> y de áreas temáticas de actuación que atenderían los intereses de la Marina.



### Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho

Físico, profesor-titular de la UFRJ y del CBPF, ex-presidente del CNPq, miembro-titular de la Academia Brasileña de Ciencia, asesor de articulación institucional de la Agencia Naval de Seguridad Nuclear y Calidad.



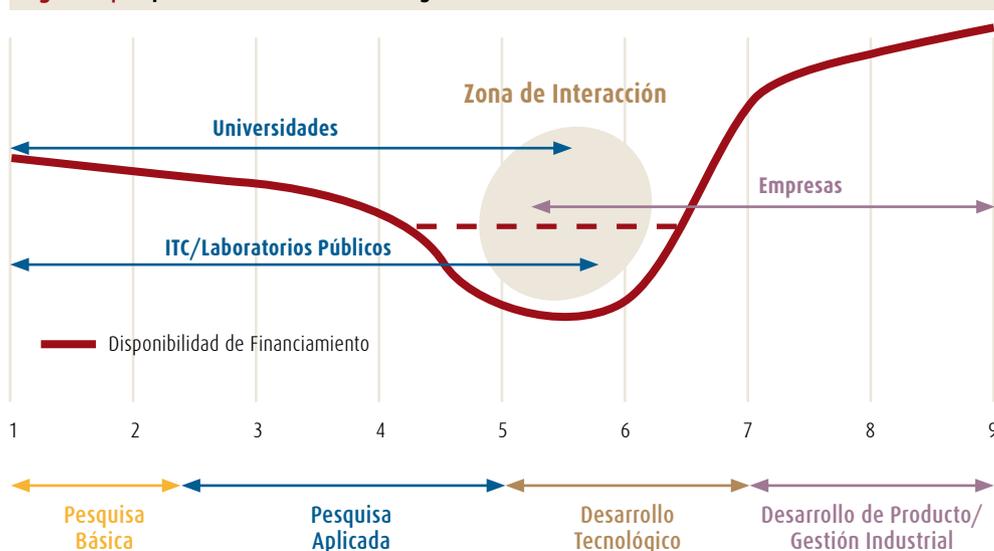
### Guilherme da Silva Sineiro

Ingeniero químico, Capitán de Mar y Guerra del Cuerpo de Ingenieros de la Marina, ex-jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo del Instituto de Investigaciones de la Marina, asesor de articulación institucional de la Agencia Naval de Seguridad Nuclear y Calidad.



El modelo simboliza la evolución dinámica de las interacciones entre academia, empresas y gobierno, por medio de espirales ascendentes. Las interacciones ocurren a lo largo de toda la cadena evolutiva por el intercambio de ciencia, tecnología, Investigación y desarrollo. El modo de actuación se basa en actividades de investigación y desarrollo en asociación con universidades, centros de investigación e institutos tecnológicos – las instituciones científico-tecnológicas – y empresas, con especial atención en las tecnologías duales.

**Figura 1 | Etapas de desarrollo de tecnologías**



Las diferentes etapas de ese modo de actuación, mostradas en la Figura 1, involucran diferentes combinaciones de socios, dependiendo del grado de madurez tecnológica (Technology Readiness Level – TRL)<sup>2</sup> de cada etapa. La región demarcada como “zona de interacción” también es conocida como “valle de la muerte” tecnológica, pues a partir de ella la mayoría de las tecnologías no consiguen avanzar hacia la madurez y acaban siendo abandonada. La Marina de Brasil ha dedicado especial atención a tecnologías de su interés cuyo TRL esté situado en esa franja, bajo riesgo de nunca disponer de ellas.

Además de establecer las necesarias articulaciones institucionales en la zona de interacción del gráfico, envolviendo diferentes socios, el modo de actuación definido por la Estrategia de CT&I también considera los recursos financieros, principalmente por el hecho de que los tipos de financiamiento disponibles varían en la medida en que aumenta el grado de madurez tecnológica. Las universidades interactúan con las instituciones de ciencia y tecnología de la Marina en las fases 1-3, dedicadas a la investigación básica y/o aplicada. Las fases de 4-7, típicas de desarrollo tecnológico, envuelven a esas instituciones y empresas, estas últimas en las etapas de prueba y prototipo. De ahí en adelante, la producción en escala cabe a las empresas. Existe especial preocupación en fortalecer la base industrial de defensa del país, usando todos los instrumentos y marcos legales de estímulo a la innovación de los gobiernos federal y estatales, con atención a productos, procesos y servicios de interés de la Marina.

En relación al concepto de áreas temáticas de actuación, creadas para aglutinar diferentes líneas de investigación en torno a aplicaciones operativas de interés, la Marina estableció las siguientes nomenclaturas, sin orden de prioridad: (a) comando, control, comunicaciones, computación, inteligencia, vigilancia y reconocimiento; (b) desempeño del combatiente; (c) plataformas navales, aeronavales y de fusileros navales; (d) medio ambiente operacional; (e) química, radiología y explosivos; (f) defensa y seguridad cibernéticas; y (g) nuclear y energía.

La definición de una moderna estrategia de CT&I se acopla a un esfuerzo de racionalización del uso de los recursos humanos y materiales de la Marina, esfuerzo que resultó en la creación de la Dirección–General de Desarrollo Nuclear y Tecnológico de la Marina (DGDNTM), englobando los sectores nuclear y de ciencia y tecnología. Tal modificación organizacional fue precedida de un estudio de las estructuras organizacionales de diversas instituciones, como las demás fuerzas armadas, Petrobras, Embraer, el Office of Naval Research (ONR, de los Estados Unidos) y la Direction Générale de l’Armement (DGA, de Francia).

Los sectores nuclear y de proyectos de submarinos de la DGDNTM están localizados en el Centro Tecnológico de la Marina en São Paulo (CTMSP), parte en el campus de la Universidad de São Paulo (USP), parte en el Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA), en Iperó, a 120 km de la capital. En la sede del CTMSP en la USP se encuentran el Centro de Desarrollo de Submarinos (CDS), con sus oficinas de pro-

## La Marina mantiene oficinas permanentes de prospección tecnológica en universidades públicas brasileñas, con las que mantiene asociaciones muy importantes.

yectos, y la Dirección de Desarrollo Nuclear de la Marina (DDNM), con sus laboratorios de prueba.

En el CDS, la tecnología francesa de construcción de submarinos es asimilada y puesta en práctica en los proyectos; en la DDNM, se desarrolla el proyecto del Laboratorio de Generación de Energía Núcleo-Eléctrica (Labgene), cuyas instalaciones están siendo construidas en Aramar. El CINA abriga toda la parte de enriquecimiento de uranio y la producción de elementos combustibles del ciclo del combustible nuclear. Para ello, en el CINA, se encuentran la Central de Hexafluoruro de Uranio (Uhexa), el Laboratorio de Enriquecimiento Isotópico (LEI), el Laboratorio de Materiales (Labmat) y el Laboratorio de Prueba de Equipamientos de Propulsión (Latep), además del Labgene.

Las demás actividades de CT&I se concentran en el Centro Tecnológico de la Marina en Rio de Janeiro (CTMRJ), compuesto de tres institutos de investigación: el Centro de Análisis de Sistemas Navales (CASNav) y el Instituto de Investigaciones de la Marina (IPqM), en la ciudad de Rio de Janeiro, y el Instituto de Estudios del Mar Al-



TÁNIA REGO/AGÊNCIA BRASIL

mirante Paulo Moreira (IEAPM), en Arraial do Cabo.

Además de los dos centros, la DGDNTM incorpora la coordinación-general del Programa de Desarrollo de Submarino con Propulsión Nuclear (COGESN) y la Agencia Naval de Seguridad Nuclear y Calidad (AgNSNQ), la primera encargada de la construcción de un submarino con propulsión nuclear (SN-BR) y la segunda, de su licenciamiento e fiscalización. La DGDNTM también es responsable de dos programas estratégicos de la Marina y del país: el Programa de Desarrollo de Submarinos (PROSUB) y el Programa Nuclear de la Marina (PNM), programas de Estado, de enorme impacto tecnológico.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección

II presentaremos algunos productos desarrollados en los centros tecnológicos de la Marina que han sido probados y usados con éxito; en la sección III abordaremos el PROSUB, que está listo a concluir la construcción de su primer submarino convencional; en la Sección IV describiremos el PNM, desde su creación; y concluiremos con las consideraciones finales.

## Proyectos exitosos

Existen varios proyectos exitosos de CT&I de la Marina que son ejemplos del uso del modelo “hélice triple”, por involucrar asociaciones entre universidades, instituciones de ciencia y tecnología de la Marina, empresas y sectores gubernamentales. De ellos, resultaron

productos – algunos comercializables – que atendieran las demandas de la Marina de Brasil.

Las asociaciones con universidades han sido muy importantes para la Marina, que creó y mantiene oficinas de prospección tecnológica en cuatro de ellas: UFRJ, UFF, FURG y USP. Con esta última, permanece vigente la más antigua asociación con la academia, establecida hace cerca de sesenta años, con la creación del primer curso de ingeniería naval de Brasil.

Entre los éxitos, el proyecto de producción de la fibra de carbono usada en ultracentrífugas, desarrollado en el CTMSP, tiene especial importancia. Por medio del desarrollo de esos materiales basados en carbono, las ultracentrífugas proyectadas por la Marina de Brasil

pueden operar con elevada eficiencia y seguridad. Gracias al dominio del proceso de producción de la fibra de carbono, las Industrias Nucleares de Brasil (INB) ya operan siete cascadas de ultracentrífugas fabricadas en el país, suministradas por la Marina. El propio CTMSP también usa este material en sus cascadas para producir el combustible del LABGENE y, en el futuro, del submarino con propulsión nuclear (SN-BR), a ser construido en el ámbito del PROSUB. El desarrollo de ligas especiales permitió la fabricación de diversas partes metálicas, usadas en las tecnologías nucleares empleadas en el CTMSP.

El proyecto de sensores para monitoreo del espectro electromagnético y detección/clasificación de emisiones de radar de embarcaciones y aeronaves (MAGE), desarrollado por el IPqM, dotó a la Marina de un sistema de vigilancia del espectro electromagnético que, instalado en los medios navales, confiere capacidad de detectar diversos tipos de amenaza durante operaciones, como transmisiones hostiles y aproximación de misiles guiados por radar. El MAGE “Defensor” está instalado a bordo de navíos de escolta y permanece en constante evolución. La industria brasileña recibió la tecnología para la construcción del hardware y suministra los equipamientos para la Marina de Brasil, que permanece responsable por el software y la inteligencia a bordo.

El proyecto de materiales que absorben radiación electromagnética para camuflaje de radar, también del IPqM, dio la posibilidad de disminuir la reflexión al radar de partes de la estructura de navíos, aumentando la invisibilidad de ellos.

## **Brasil desarrolló una tecnología propia para monitorear áreas marítimas de interés. Ella puede ser usada, por ejemplo, en búsqueda y salvamento, control de la pesca ilegal y combate al tráfico.**

Desarrollados, inicialmente, bajo la forma de tintas, estos materiales son producidos en Brasil y forman parte del esquema de pintura de los periscopios de los submarinos de la clase Tupi, operados por la Marina de Brasil. En el IPqM, el desarrollo de estos materiales continúa con la búsqueda de absorción en diferentes franjas del espectro electromagnético y la vehiculación en diferentes soportes, como placas y mantas elastoméricas, lo que permitirá su aplicación en estructuras con mayores dimensiones.

El proyecto de sistemas de control táctico para operaciones navales de la familia SICONTA, hoy en operación en la Marina de Brasil, nació del trabajo del IPqM. Su desarrollo partió de simuladores para entrenamiento táctico de los alumnos del Centro de Adiestramiento Almirante Marques de Leão (CAAML). Se trata de un abarcador sistema de vigilancia que pre-

senta, al operador, el cuadro táctico del área marítima donde está el medio naval, suministrando conciencia situacional marítima y permitiendo la operación centrada en red, cuando las informaciones tácticas son compartidas por más de un navío. Además de resultar en transferencia de tecnología para la industria brasileña, actual suministradora del sistema para la Marina de Brasil, el continuo desarrollo del SICONTA permitió que diversos productos derivados fuesen producidos, como el Centro de Integración de Sensores y Navegación Electrónica (CISNE) y el Sistema de Simulación Táctica y Entrenamiento (SSTT), hoy en su tercera versión. Estos sistemas pueden operar interligados en tiempo real.

El Sistema de Informaciones sobre el Tráfico Marítimo (SISTRAM) se destina a acompañar embarcaciones en áreas de interés, pudiendo ser usado para diversos propósitos. Es una herramienta desarrollada por el CASNAV para apoyar la toma de decisión en operaciones de búsqueda y salvamento (Search and Rescue – SAR), pudiendo ser usado en la fiscalización de la pesca ilegal y en el combate a la piratería y el tráfico de drogas y de armas. El SISTRAM es compatible con los demás sistemas existentes en el mundo, permitiendo rápida localización y accionamiento de embarcaciones próximas en caso de emergencia marítima. Su flexibilidad permite alimentación de datos por varias fuentes, conforme la red de comunicación disponible. Es compuesto de un visualizador georeferenciado, un módulo de gerenciamiento y un módulo de análisis de datos.

El IEAPM desarrolló una tinta anti-incrustante a base de biocida natural. El proyecto fue iniciado con la colecta, identificación y extracción de sustancias de organismos marinos en Arraial do Cabo (RJ) y posterior prueba de su actividad anti-incrustante en el laboratorio y en el campo, trabajo conjunto entre la Universidad Federal Fluminense (UFF) y el IEAPM. Las sustancias con mejor desempeño fueron seleccionadas para ser sintetizadas en un laboratorio de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ). El proceso de producción ya obtuvo una patente en los Estados Unidos y la tinta está siendo producida en Brasil, por la industria nacional.

Como se puede observar, todos los proyectos descritos se beneficiaron de la existencia de una comunidad científico-tecnológica, en la Marina y fuera de ella, y de una base industrial brasileña. Este es el resultado de años de inversión en formación de cuadros calificados en las diversas áreas de CT&I.

## El Programa de Desarrollo de Submarinos

La Marina comenzó a operar submarinos en 1914. Los primeros eran italianos, pues el país todavía no disponía de tecnología para construir esos complejos medios navales. Posteriormente, la Marina operó submarinos norteamericanos de la clase Guppy y británicos de la clase Oberon.

La construcción de submarinos en Brasil comenzó con el Programa de Reequipamiento de la Marina (PRM), de 1979, que optó por los IKL 209-1400 alemanes. El Tupi, que da nombre a una clase de submarinos, fue construido en Alemania con la participación de ingenieros brasileños que absorbieron la tecnología involucrada. Los demás submarinos de esa clase fueron construidos en Brasil: Tamoio, Timbira y Tapajó. El Tikuna, construido

en la secuencia, da nombre a una clase por incorporar una serie de innovaciones propuestas por los ingenieros brasileños. Todos continúan en operación.

Con la transferencia de la tecnología alemana de los IKL, varios ingenieros de la Marina adquirieron la base necesaria para proyectar y construir submarinos, tarea de alta complejidad tecnológica, como se puede ver en el gráfico. Esa base permitió que surgiese un proyecto de desarrollo de dos clases de submarinos nacionales: S-NAC I (convencional) y S-NAC II (nuclear). En 1990, por indisponibilidad de recursos, el programa S-NAC fue paralizado.

La dificultad para construir un submarino nuclear aparece en la figura 2.

La Figura no considera el proceso de obtención del combustible nuclear, cuyo ciclo la Marina de Brasil también necesitó dominar, pues el material no es comercializado.

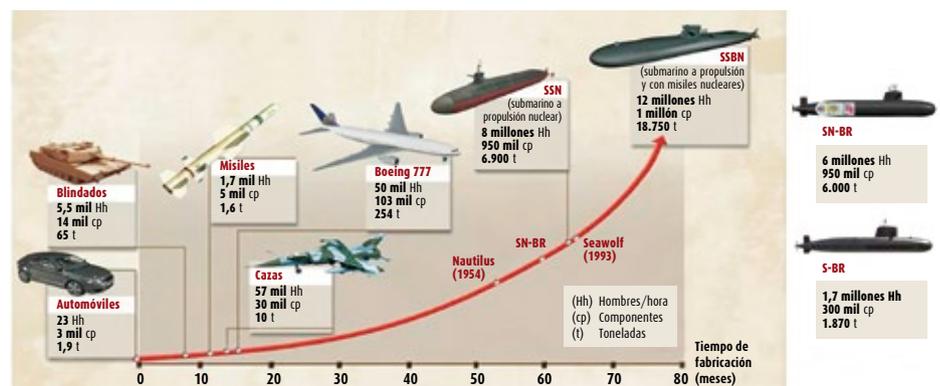
Para vencer las dificultades inherentes al proyecto y a la construcción del submarino nuclear, la Marina optó por un proyecto extranjero de submarino convencional que le transfiriese la tecnología para construir el casco de un submarino capaz de recibir un reactor nuclear, el SN-BR, con el acuerdo y la asociación estratégica con Francia, iniciados

en 2008, esa transferencia está ocurriendo para el área no nuclear del SN-BR. En enero de 2017, el proyecto básico del SN-BR fue finalizado y, posteriormente, certificado por la asistencia francesa. En este momento, el proyecto del submarino se encuentra en fase de detalles.

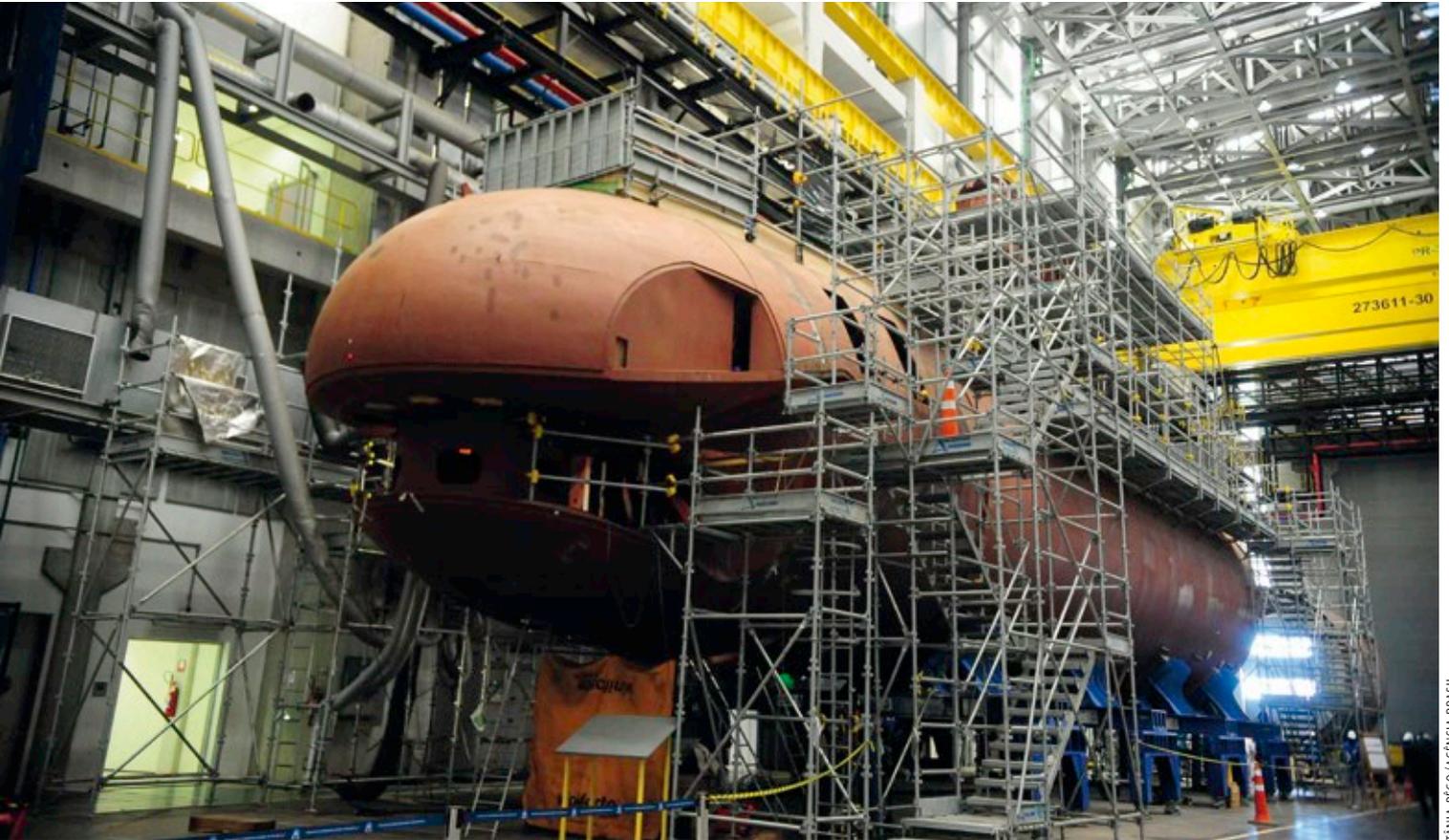
En el marco del PROSUB fueron creados en Itaguaí una unidad de fabricación de estructuras metálicas (UFEM) y un astillero de construcción (ESC) y de mantenimiento (ESM). Para permitir la ejecución de los contratos firmados con Francia, fue establecida la Sociedad de Propósito Específico Itaguaí Construcciones Navales (ICN), que opera la UFEM y el ESC. La UFEM, vecina de la NUCLEP (empresa encargada de construir las secciones de los cascos de los submarinos), es responsable de llenar las secciones de cascos de los submarinos con los más diversos equipamientos. Su construcción fue iniciada en 2010 y ella comenzó a operar dos años y ocho meses después. El astillero de construcción (ESC), responsable por integrar las secciones, comenzó a ser construido en 2009 e inició operaciones al inicio de 2018.

Actualmente, cerca de 1.150 obreros trabajan en el ESC. Apenas seis son franceses; los demás son brasileños. El primer submarino convencional, el Ria-

Figura 2 | Construcción de submarinos | curva de complejidad



Fuente: National Shipbuilding Research Program - Advanced Shipbuilding Enterprise. Adaptación de los autores.



TÁNIA RÉGO/AGÊNCIA BRASIL

**El programa de submarinos ha permitido absorber modernas tecnologías de construcción naval y nacionalizar equipamientos y sistemas.**

chuelo, fue transferido para el ESC a inicios de 2018. El 20 de febrero, se inició la integración de sus secciones, un hecho muy importante para el proyecto.

Ya comenzó el entrenamiento de la tripulación del Riachuelo, cuyo lanzamiento al mar está previsto para el día 14 de diciembre de 2018. En mayo de 2019, ocurrirá la transferencia, para el ESC, del segundo submarino, el Humaitá, para comenzar la integración de sus secciones. Las secciones del tercero, el Tonelero, y del cuarto, el Angostura, están siendo preparadas en la UFEM.

El programa ha permitido absorber modernas tecnologías de construcción naval, así como nacionalizar equipamientos y sistemas,

impulsando diversos sectores de la industria nacional. Sus actividades engloban a 23 universidades e instituciones de Investigación, además de novecientas empresas, generando 8 mil empleos directos y 17 mil indirectos (Figura 3).

En términos de beneficios tecnológicos aportados por el PRO-SUB pueden ser mencionados, a título de ejemplo, diversos equipamientos y sistemas que serán usados por los submarinos de la clase Riachuelo, todos producidos por empresas brasileñas:

- consolas de navegación, de dirección, del sistema de combate y del sistema integrado de gerenciamento de la plataforma (IPMS);



UFEM | UNIDAD DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS, PREPARACIÓN DE LAS SECCIONES 2010, 2013 Y 2018



ASTILLERO Y BASE NAVAL | INTEGRACIÓN Y PRUEBA 2010, 2017 Y 2018

FOTOS CEDIDAS PELO AUTOR

- gabinetes del sistema sonar, principal sensor del submarino;
- cojinetes de escora (interfaz mecánica que transmite el esfuerzo de propulsión del motor al casco);
- cuadro eléctrico principal;
- componentes mecánicos (válvulas de casco y actuadores);
- diversos componentes eléctricos y electromecánicos (bombas, motores eléctricos, transformadores, cabos y baterías).

Los beneficios pueden ir más allá, pues el límite de nacionalización aún no fue alcanzado. Hay más propuestas de proyectos en esa situación. Los criterios, requisitos y cualificación exigidos están al alcance de la industria brasileña, existiendo casos de exportación

de material para otras aplicaciones en la empresa francesa socia en el programa. Finalmente, la nacionalización alcanzada por Brasil en la construcción del submarino convencional beneficiará al SN-BR.

## El Programa Nuclear de la Marina

El interés de la Marina por el sector nuclear fue despertado por la participación del almirante Álvaro Alberto con la generación de energía a partir de la fisión de núcleos pesados, proceso que él acompañó desde que fue introducido, allá en la década de 1940.

Ingeniero químico, especialista en explosivos, área en que hizo interesantes descubrimientos, fue

profesor de la Escuela Naval durante varios años. Allí, presentó los desafíos del área nuclear a los alumnos y profundizó en el tema, al punto de convertirse en representante brasileño y presidente de la recién creada Comisión de Energía Atómica de la Organización de las Naciones Unidas (CEA/ONU), por dos períodos, de 1946 a 1948.

Convencido de que Brasil tendría que capacitarse para poder usufructuar los beneficios de las nuevas tecnologías nucleares que surgían, en 1946 el almirante Álvaro Alberto propuso al Congreso Nacional, por intermedio de la Academia Brasileña de Ciencias (ABC), la creación del Consejo Nacional de Investigaciones (CNPq), hoy

Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. El CNPq fue fundado en 1951, formando y apoyando desde entonces a investigadores de las más diversas áreas. Álvaro Alberto fue su primer presidente, de 1951 a 1955.

Su prestigio entre los científicos lo llevó a presidir la ABC en los bienios 1935-1937 y 1949-1951 y a contribuir decisivamente a crear la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) en 1956. No por acaso, el mayor premio de ciencia del país, concedido por el CNPq, lleva su nombre, en reconocimiento a su papel destacado y pionero.

En 1954, el almirante Álvaro Alberto trajo las tres primeras ultracentrífugas para separación isotópica de uranio, precursoras de las modernas ultracentrífugas desarrolladas y usadas por la Marina y por las industrias nucleares de Brasil (INB) en el proceso de enriquecimiento del uranio. Años más tarde, en 1979, la Marina inició un programa de reequipamiento que incluía obtener un submarino con propulsión nuclear, lo que la llevó a vincularse en un proyecto destinado a dominar el ciclo del combustible nuclear y en otro destinado a construir un reactor nuclear.

**El Programa Nuclear de la Marina nos dio acceso a tecnologías estratégicas, antes inaccesibles, y propició asociaciones con universidades y empresas.**

**Figura 3 | Submarino Riachuelo siendo integrado en el astillero de construcción (ESC) | Foto de junio de 2018**



En 1981, una asociación con el Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares (IPEN), hoy un instituto de la CNEN, situado en el campus de la USP, motivó la creación del CTMSP, como mencionamos en la introducción, y llevó a una colaboración duradera entre esas instituciones. Como consecuencia, fue posible proyectar y construir un reactor de investigación, de potencia cero, concluido en 1988, año en que el país completó el dominio del ciclo del combustible nuclear, tan necesario para apoyar las diversas tecnologías que integran el Programa Nuclear Brasileño.

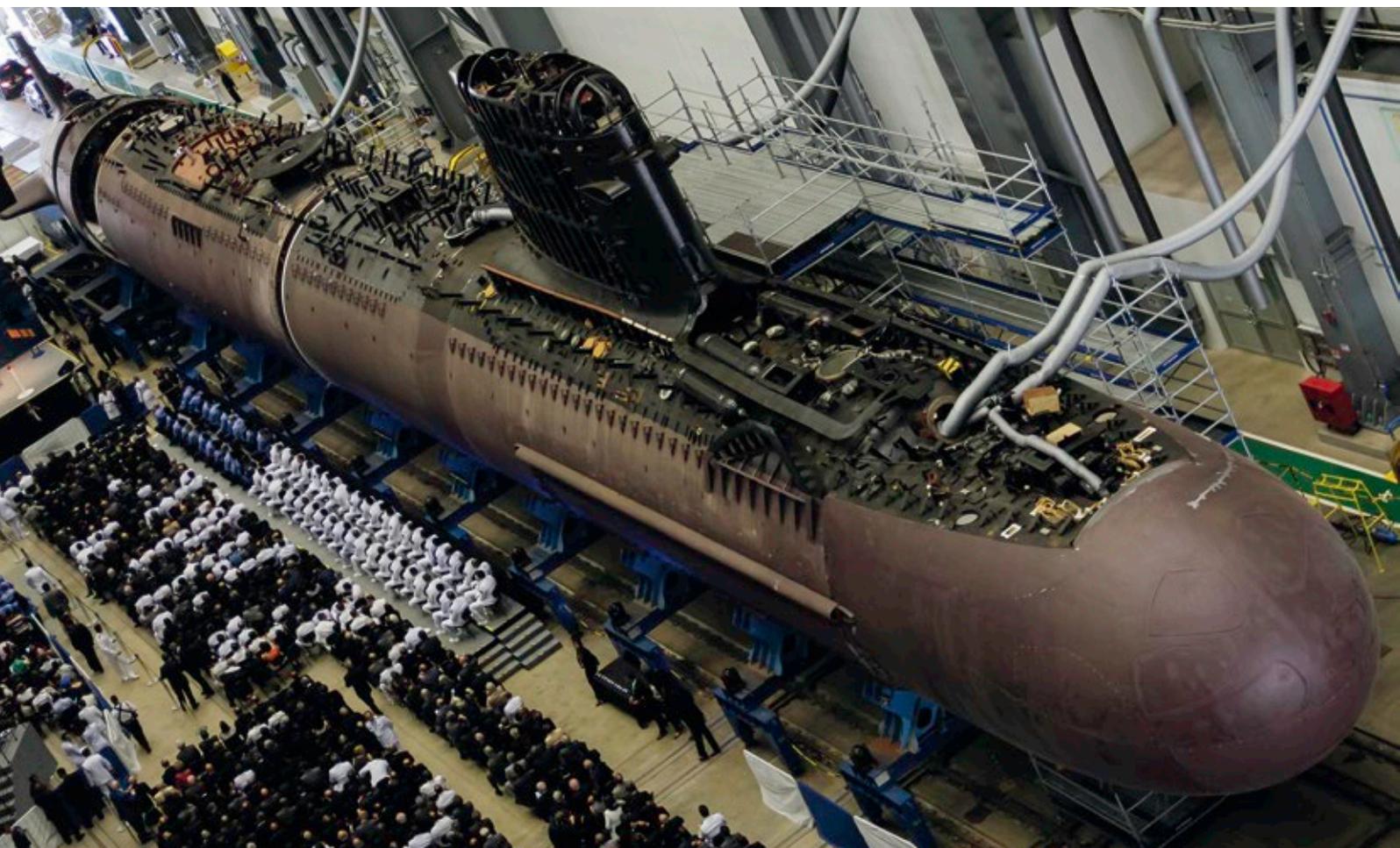
Para dominar el ciclo, fue necesario dominar la tecnología de obtención del hexafluoreto de ura-

nio y obtener, en 1988, a escala de laboratorio, el enriquecimiento isotópico de uranio con centrifugas construidas totalmente en Brasil. Mientras la prospección y extracción de uranio están a cargo de las Industrias Nucleares de Brasil (INB), la Marina se encarga de convertir el uranio procesado en el gas hexafluoreto de uranio, que es enriquecido por ultracentrifugación y transformado en pastillas de combustible (Figura 4).

La tecnología de enriquecimiento por ultracentrifugación, combinada con levitación magnética, propició la construcción de las siete cascadas de ultracentrifugas que equipan la INB. Una octava cascada está presta a entrar en operación y más dos serán entregadas hasta 2021. Trein-

ta cascadas más están previstas hasta 2030, lo que permitirá suministrar el combustible para nuestras centrales nucleares – hoy abastecidas parcialmente – y, aún, exportar.

Como parte del Programa Nuclear de la Marina, el CTMSP está construyendo el prototipo en tierra de un reactor y de una planta de propulsión naval, en el Laboratorio de Generación de Energía Nucleo-Eléctrica (LABGENE),<sup>4</sup> Desarrollo crucial para el SN-BR, ya que la transferencia de tecnología de construcción de casco no incluyó la planta de propulsión nuclear. Será el primer reactor de potencia del país, un reactor por agua presurizada (PWR), que podrá ser adaptado para uso dual, de forma modular, pudiendo proveer energía



**Figura 4 | Ciclo completo del combustible**

y agua, vía desalinización, a regiones remotas en que haya escasez.

La Marina de Brasil también colabora con la CNEN, por intermedio del IPEN, en el proyecto del Reactor Multipropósito Brasileño (RMB), destinado a producir radioisótopos y radiofármacos, a irradiar y a probar materiales. Este proyecto es de enorme interés para la sociedad brasileña, pues suplirá las necesidades de radiofármacos usados para diagnóstico y tratamiento en la medicina nuclear. Además de eso, suministrará reserva de radiación de neutrones para Investigación, desarrollo y prueba en materiales.

## Consideraciones finales

Los ejemplos mencionados evidencian el compromiso de la Marina de Brasil con la utilización de ciencia, tecnología e innovación para perfeccionar su capacidad de actuación en la defensa del país. Tal com-

promiso proporciona beneficios adicionales para la sociedad brasileña, como vimos, pues puede llevar a tecnologías duales de amplia aplicación.

En varios proyectos dirigidos a la capacitación, materiales y equipamientos de interés de la Marina, se constata la importancia de la interacción con universidades, centros de investigación e institutos tecnológicos, así como de la asociación con empresas. Programas como el PROSUB y el PNM usan la base científico-tecnológica existente en el país. Por otro lado, las demandas de programas de este tipo llevan a la comunidad científica a superar nuevos desafíos, lo que contribuye al avance de CT&I en Brasil y su mayor divulgación para la sociedad.

El Programa Nuclear de la Marina, conducido con gran transparencia, bajo salvaguardas nacionales e internacionales, es un óptimo

ejemplo de programa nacional estratégico, que busca dotar a Brasil de un submarino con propulsión nuclear. Él nos condujo al dominio del ciclo del combustible nuclear, desarrolló tecnologías antes inaccesibles, creó las condiciones para la construcción del primer reactor modular de potencia por agua presurizada, con posibles aplicaciones duales, y colabora con otras iniciativas estratégicas del sector nuclear, como la del Reactor Multipropósito Brasileño.

La absorción de tecnología proporcionada por el PROSUB, como vimos, ha permitido asociaciones con decenas de universidades y centenares de empresas, generando empleos que contribuyen al dinamismo económico en las regiones del entorno del CINA, en Iperó, y del EBN, en Itaguaí. Este proceso de absorción nos capacita para nuevos desarrollos y abre la perspectiva para asociarnos a otros proyectos de construcción de medios navales que vayan a usar la compleja, moderna y sofisticada infraestructura creada.

La ciencia, la tecnología, la innovación y la capacitación científico-tecnológica de nuestra Marina y de nuestro pueblo constituyen activos preciosos para la soberanía y la seguridad, esenciales al bienestar de la población, el progreso de Brasil y la garantía de un futuro promisorio a las nuevas generaciones. ■

## Notas

1. Modelo creado en 1990, por los profesores Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff.
2. Concepto establecido por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, que establece una escala creciente de madurez tecnológica de 1 a 9.

# EL *CLUSTER* AERONÁUTICO BRASILEÑO

las contribuciones para el sistema  
de innovación de São José dos Campos



La construcción de una industria aeronáutica es un proyecto a largo plazo, que exige la participación de gobiernos, empresas privadas y centros académicos de excelencia. Actuando desde la década de 1940, instituciones de enseñanza e investigación ligadas a la Fuerza Aérea Brasileña formaron generaciones de especialistas que nos propiciaron la capacidad de proyectar y producir bienes de alto contenido tecnológico, que ennoblecen la pauta de exportaciones del país. Embraer produce superávits comerciales sustentables, emplea a cerca de 17 mil brasileños y genera encomiendas a otras cien empresas que operan en torno a ella, con gran densidad de trabajo calificado. La región de São José dos Campos (SP) se destaca, en el mundo, por la importancia del sector aeroespacial allí instalado.

La industria aeronáutica brasileña es frecuentemente señalada como un caso de éxito de política industrial, teniendo en la Embraer su mayor exponente. La importancia de que las empresas, las instituciones de investigación y enseñanza y otras instituciones – públicas y privadas, civiles y militares – tuvieron para ese suceso se reflejan en el establecimiento de una región productiva importante en São José dos Campos (SP) y en su impacto sobre el sistema de innovación (SI) regional, considerado emblemático para todo Brasil.

Este *cluster* productivo, científico y tecnológico tuvo origen a inicios del siglo XX, en iniciativas puntuales y poco coordinadas, con cierta inestabilidad en el fomento público. Él fue claramente redireccionado en la década de 1940, cuando se establecieron las instalaciones de ciencia y tecnología (C&T) de la Aeronáutica. A partir de entonces, una serie de eventos engrosaron las capacitaciones sectoriales y regionales, estableciendo las bases actuales.

Este artículo pretende presentar un análisis sistemático de esas capacitaciones por medio de una observación histórica, considerando la estructura actual como foco en los actores del sistema de innovación y sus interacciones. Adicionalmente, observaremos otros *clusters* aeroes-

paciales en el mundo que puedan servir de comparación con el existente en São José dos Campos. Para eso, presentamos inicialmente una conceptualización de sistemas de innovación, dejando claro su importancia analítica y mostrando como *clusters* sectoriales tienen estrechos vínculos con la capacitación regional de sistemas de innovación. Después, presentamos la evolución histórica del *cluster* aeronáutico brasileño hasta los días actuales, incluyendo observaciones sobre casos internacionales. Al final, el artículo señala potencialidades y desafíos que deben ser enfrentados para el desarrollo sectorial y regional.

### Sistemas de innovación

La efectividad del ciclo virtuoso económico, por medio del cual el proceso de innovación tecnológica contribuye a la construcción de una estrategia de desarrollo económico y de prosperidad social, ha sido ampliada por la mayor y mejor articulación e integración de los individuos, de las organizaciones y de los sectores que de él participan, notoriamente la academia, el gobierno y empresas privadas, especialmente en el ámbito de acuerdos productivos, colaborativos, de *clusters* de innovación o de sistemas de innovación, como describimos a continuación.



**Thiago Caliarì**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).



**José Henrique de Sousa Damiani**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Sistemas de innovación vinculan academia, gobierno y sectores privados en relaciones de cooperación y de actuación competitivas – la llamada *coopetition* –, en espacios geográficos delimitados, en determinados segmentos económicos y en áreas específicas de conocimiento científico y tecnológico y sus aplicaciones (Freeman, 1992; Malerba, 2002). En general, la delimitación geográfica de un sistema de innovación (Cooke, 2001; Florida, 1995) establece beneficios en

valor – como instituciones públicas y privadas de enseñanza, investigación y desarrollo, innovación y fomento – e instituciones dirigidas a la colaboración y al encausamiento de desafíos económicos y sociales – como organizaciones de gobierno, centros de competitividad, parques tecnológicos, incubadoras, consorcios y asociaciones profesionales comerciales e industriales, entre otras, de promoción de la colaboración y de los intereses de partes interesadas.

El establecimiento del sistema de innovación de São José dos Campos está íntimamente ligado a la evolución y consolidación de la industria aeronáutica brasileña. Es importante entender la historia de ese complejo de ciencia, tecnología e innovación, así como la evolución de los agentes en ese ecosistema. Mostraremos la trayectoria de la industria aeronáutica en Brasil observando tres períodos:

## La evolución del sistema de innovación de São José dos Campos y el impacto del *cluster* aeronáutico brasileño

El establecimiento del sistema de innovación de São José dos Campos está íntimamente ligado a la evolución y consolidación de la industria aeronáutica brasileña. Es importante entender la historia de ese complejo de ciencia, tecnología e innovación, así como la evolución de los agentes en ese ecosistema. Mostraremos la trayectoria de la industria aeronáutica en Brasil observando tres períodos:

### La fase pre-inicial

Se considera esta fase como el período comprendido entre la década de 1930 y la creación del Centro Tecnológico Espacial (CTA) y del Instituto Tecnológico de la Aeronáutica (ITA), en la segunda mitad de la década de 1940. Ella fue marcada por iniciativas de emprendedores visionarios, como es el caso del primer avión producido a escala industrial (Muniz M-7) hecho por la Compañía Nacional de Navegación Aérea (CNNA) en 1936. Henrique Lage, propietario de la CNNA, intentaba desarro-

la forma de economías de aglomeración, anticipadas por Alfred Marshall. Ellas proceden de la actuación conjunta de empresas centrales en una determinada industria o sector y de la operación de sus cadenas de valor verticales, situadas de arriba a abajo, que se relacionan y se integran a estas empresas centrales.

En este marco también actúan organizaciones de soporte a las empresas centrales y a sus cadenas de

Los sistemas de innovación también se relacionan a las cadenas industriales horizontales y/o verticales, asociadas a otros sectores de competencia y de actividad económica, con los cuales un determinado *cluster* mantiene interfases. A productores de nuevos materiales, por ejemplo, pueden proveerlos tanto el *cluster* de innovación de naturaleza aeronáutica como automovilística. Este, además, es un ejem-



RAFAEL LUIZ CANOSSA / CREATIVE COMMONS

llar un avión nacional desde 1921, pero sus esfuerzos sólo tuvieron resultado en el gobierno de Getúlio Vargas, después de la creación del Departamento de Aviación Civil (DAC) y del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) del Estado de São Paulo. Este movimiento garantizó la demanda gubernamental (por motivaciones militares y navales, los aviones fueron adquiridos por el Ministerio de la Guerra) y el soporte científico y tecnológico para el desarrollo del Muniz M-7. Además, el desarrollo de los aviones HL-1 y HL-6, construidos por la CNNA, también contó con la demanda del Ministerio de la Aeronáutica (Bertazzo, 2003), como ocurrirá después con la aeronave Bandeirante y la Embraer.

Todavía durante el período, las demás iniciativas privadas buscaron desarrollar tecnología nacional, con casos emblemáticos como el CAP-4 Paulistinha y el CAP-1 Planalto, producidos por la Compañía Aeronáutica Paulista, del Grupo Pignatari, también contando con la participación del IPT-USP en el desarrollo de varias partes aeronáuticas. Adicionalmente, el gobierno buscaba un engrosamiento productivo y tecnológico de bases nacionales, con la creación de la Comisión de Estudios para la Instalación de una Fábrica de Aviones (Ceifa) en 1932.

El inicio de la Segunda Guerra Mundial dificultó la alianza que estaba siendo formada con Alemania (serían producidas aeronaves de entrenamiento Focke-Wulf 44 y

bombarderos Focke-Wulf 58), con la utilización de la Fábrica de Galeão para la producción del Fairchild M-62A Cornell (220 unidades fueron fabricadas entre 1942 y 1952) (Bertazzo, 2003). El IPT-USP también participó de este caso, desarrollando componentes na-

**Son grandes las barreras para la entrada de nuevos protagonistas en la producción aeronáutica. Pocos países consiguieron penetrar en ese selecto club. Mantenerse en él es un desafío permanente.**



ALDO BIDINI / CREATIVE COMMONS

cionales que fueron insertados en la aeronave a lo largo del tiempo.

En 1936, el Ejército Brasileño comenzó a intentar establecer la Fábrica Nacional de Motores (FNM), siendo beneficiada por un préstamo del gobierno de los Estados Unidos y un acuerdo internacional con la Wright Aeronautical Company. Infelizmente, la demo-rra en la producción (que sólo comenzó en 1946) y sus altos costos de instalación llevaron el empeño al fracaso. Aquella fue transformada en una fábrica de camiones (Bertazzo, 2003).

Además de las iniciativas productivas, la estrategia del gobierno federal en entrenamiento de recursos humanos consistía en enviar periódicamente ingenieros brasileños para cursos en el exterior y convidar a profesores extranjeros para impartir cursos en Brasil. Esas iniciativas, sin embargo, no confi-guraban una política de Estado. Estaban comúnmente ligadas a la suerte y a la motivación política del gobierno en el poder. Con el cambio de gobierno en 1945, una política económica de cuño más liberal fue puesta en práctica por el general Eurico Gaspar Dutra. Los planes para desarrollar una industria nacional fueron relegados.

Estas experiencias tenían buenas intenciones pero no fueron suficientemente coordinadas para establecer relaciones entre agentes importantes de un sistema de innovación. En la mayoría de las veces, las empresas establecieron estrategias para la verticalización productiva, pero la complejidad de los sistemas aeronáuticos imponía restricciones técnicas y económicas para la continuidad de los proyec-

tos. La mayoría de los proyectos brasileños aludían al licenciamien-to de tecnologías extranjeras o a la adaptación de proyectos, además de ser diseñada por ingenieros del exterior. ELO IPT-USP se consol-idaba como el único caso impor-tante de asociación de ciencia y tecnología, aún en aeronaves ex-perimentales simples (Sarti; Ferreira, 2012).<sup>1</sup> Estos problemas, aliados a la fallida estrategia de negocio (operación en el mismo nicho de mercado o en segmentos con baja demanda nacional y baja capacidad tecnológica) son destacados como errores crasos por Silva (2008).

Además de eso, el acceso a ex-cedentes de guerra aeronáuticos permitieron que aeronaves nortea-mericanas ingresasen en el merca-do a precios reducidos, impactando los esfuerzos de desarrollo de em-presas nacionales.

## La fase del *catching up*

La creación de la Fuerza Aérea Bra-sileña (FAB) en 1941, y seis años después el establecimiento del CTA, definiéndose el Instituto de Inves-tigación y Desarrollo (IPD) y una escuela de formación de ingenieros (ITA), son el punto inicial de esta fase, marcada por la elaboración y la implantación del Plan Smith,<sup>2</sup> inspirado en el modelo del Institu-to de Tecnología de Massachusetts (MIT), que estableció la concep-ción del CTA y de sus institutos. El ITA se convirtió en una institu-ción de referencia en la enseñanza de ingeniería, incluyendo la aero-náutica, y fue el granero de varias compañías nacionales privadas, creadas en las décadas siguientes por sus ex-alumnos, como la Embraer, la Avibrás, la Esca, la Tecna y la

Mectron, entre otras, además de ser el principal suministrador de mano de obra calificada para el IPD (Bernardes, 2000, con añadido de los autores). Este éxito de base cien-tífica y tecnológica fue seguido por el establecimiento de una institu-ción de certificación y de fomento a la industria aeronáutica, el Insti-tuto de Fomento y Coordinación Industrial (IFI),<sup>3</sup> también en el marco del CTA, que enseguida se vol-vió un órgano de soporte al desa-rrollo de la base productiva indus-trial aeronáutica. Con el aumento de las capacitaciones del IPD se hizo necesario crear especializaciones en investigación y desarrollo. Ello fue definido en el Instituto de Ac-tividades Espaciales (IAE) en 1971 y en el Instituto de Estudios Avan-zados (IEAv) en 1982, siguiendo a éste la creación del Laboratorio de Estudios Avanzados (LEA).

Al final de la década de 1960, el CTA/IPD fue el punto de parti-da para el desarrollo del EMB-110 Bandeirante y la creación de la Em-braer. La institución fue la provee-dora de capacitación técnica y re-cursos humanos para la empresa aún durante la década de 1970. La creación de la Embraer, empresa estatal, enfrentó los desafíos y ries-gos inherentes a la producción de bienes de alta complejidad tecno-lógica en un ambiente emergente que había enfrentado serios proble-mas comerciales y tecnológicos en un pasado no tan distante (Cabral, 1987; Ferreira *et al.*, 2009; Fran-celino, 2016).

Esta capacidad técnica y geren-cial nacional es un gran definidor del éxito de la empresa, pero junto con eso es necesario destacar la im-portancia de haber establecido el

## Las agencias federales de financiamiento, como BNDES y Finep, contribuyeron con cerca de 80% de los recursos para investigación y desarrollo. Sin ellos, la industria aeronáutica brasileña no existiría.

nicho de mercado regional como estrategia de negocio. La importancia de esto remite a la disminución de las barreras para la entrada en la producción, al acceso a un mercado que no contaba con competidores claros y al match con las necesidades gubernamentales de demanda, cruciales para los primeros impulsos productivos. El gobierno hizo la encomienda de los primeros EMB-110 y del avión Ipanema para el Ministerio de Agricultura, y obtuvo la licencia de producción del MB-326G de la compañía italiana Aermacchi (conocido como AT-26 Xavante).

En este período, el establecimiento de asociaciones tecnológicas en desarrollos militares de la Embraer (AT-26 Xavante y AMX) fue primordial para mejorar procesos industriales también en los aviones comerciales, a causa de la dualidad de la tecnología utilizada en esos tipos de productos (Cabral, 1987; Francelino, 2016). Para el AMX, la Aeronáutica creó el Programa de Industrialización Complementaria (PIC), buscando calificar empresas brasileñas para producir ciertos items estratégicos, considerando entrenamiento técnico, adquisición de máquinas y equipamientos, equipamientos de pruebas, laboratorios, servicios y asistencia tecnológica<sup>4</sup> (Francelino, 2016, p. 156/158), con gastos en el orden de US\$ 600 millones valorados por Ferreira (2009) en valores de 2009. Silva (2008), sin embargo, hace dura crítica al programa, describiendo que optar por la importación de tecnología habría sido un error, pues tal transferencia no era una estrategia bien vista por las corporaciones transnacionales a causa del limitado mercado brasileño en términos de tamaño y renta. Esa crítica se remonta a la propia experiencia de Ozires Silva en el

desarrollo de la Embraer, que se desarrolló adquiriendo sus propias capacidades productivas y conocimientos tecnológicos (Dagnino, 1993). A pesar de las críticas, es importante destacar que el PIC propició la capacitación de varias empresas brasileñas, que pasaron a ser *players* de mayor importancia en el sector aeronáutico, como la Aeromot, en Porto Alegre. Además de eso, Francelino (2016) apunta como beneficios del programa la mejoría en las capacidades de certificación de productos aeronáuticos de mayor complejidad tecnológica.

Durante el período, también fue notorio el esfuerzo del gobierno federal para ofrecer las garantías necesarias para el financiamiento sectorial, principalmente vía Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES), Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep) y otras agencias de investigación y desarrollo (Ferreira, 2009). El proyecto del EMB-312 Tucano, las primeras compras civiles para el EMB-110 Bandeirante, financiamientos a entidades privadas extranjeras para compra de las aeronaves y ayuda en la certificación internacional fueron frecuentemente costeadas por agencias y bancos estatales. Hasta la década de 1980, el sector público fue la principal fuente de recursos para investigación y desarrollo del sector, algo en torno de 80%, como mostró Bernardes (2000).

El mismo autor destaca la importancia de esas acciones para la creación de la infraestructura tecnológica de la región de São José dos Campos y la generación de economías de aprendizaje y externalidades productivas y tecnológicas, transformando la región en un importante polo ya en las décadas de 1970 y 1980. En suma, la acción del poder público fue pri-

mordial para establecer las bases del sector y, por consiguiente, de la región. Como destacan Pietrobelli y Rabelotti (2009): “Países en desarrollo precisan construir la base inicial de sus capacidades, apoyando sus procesos de aprendizaje; sus mercados e instituciones de apoyo son menos desarrollados y, por eso, responden menos a las necesidades de las empresas; *clusters* y redes de información son más débiles; el escenario macroeconómico para la actividad industrial y tecnológica es menos propicio; la capacidad emprendedora para soportar el riesgo tecnológico también puede ser menos desarrollada, y el sistema financiero es menos dispuesto a apoyar tal esfuerzo” (Pietrobelli; Rabelotti, 2009, p. 217).

## La fase pos-privatización hasta los días actuales

La privatización de la Embraer, en 1994, marca la tercera fase de la industria aeronáutica nacional. El cambio de propiedad estuvo relacionado a limitaciones en la estructura de gobernanza estatal, las restricciones en el Presupuesto de la Unión y al fin del ciclo de vida de los principales productos de la empresa. La creación de incentivos financieros y tecnológicos para ese proceso marcó la etapa inicial, con el desarrollo del proyecto de la primera aeronave regional de la familia ERJ (ERJ-145). El nuevo socio-controlador, el Grupo Bozzano-Simonsen, aportó recursos para terminar el desarrollo de esa aeronave, que había sido iniciado antes de la privatización. Para hacer frente a las dificultades financieras internas, la Embraer inauguró un tipo de relacionamiento con suministra-

dores – las asociaciones estratégicas – que después se convirtieron en un patrón en la industria de aviación global.

Vale la pena destacar el carácter global de la industria aeronáutica, que involucra complejos acuerdos de actividades productivas, tecnológicas y comerciales. Normalmente, las empresas líderes (aquellas que integran proyectos y el montaje del producto final) se benefician de los polos productivos, tecnológicos y científicos en todo el mundo, explorando economías de sus empresas socias en una bien conectada cadena global de valor (Bernardes, 2000; Sturgeon et al., 2013). En ese contexto, los principales suministradores de la Embraer ya eran empresas extranjeras. Manteniéndose las asociaciones estratégicas, ese patrón se mantuvo. Este tipo de asociación fue un éxito y continuó siendo usado para modelos posteriores de la familia ERJ.<sup>5</sup>

La familia E-Jet elevó a Embraer a un nivel de competencia internacional importante. Hoy, ella es la principal compañía aérea de jets regionales en el mundo y viene suministrando al mercado la segunda generación de la familia, el E2 (EMB-175-E2, EMB-190-E2 y EMB-195-E2) (Vinholes, 2017).

Además de ese reconocimiento a la capacidad de ingeniería y de producción de la principal empresa nacional, en los años recientes se verificaron esfuerzos de engrosamiento de la estructura de apoyo a la innovación en la región, como muestra la cantidad de agentes que participan del sistema de innovación en São José dos Campos. En este municipio, desde la implantación del CTA, del ITA y del IPD se es-

**El complejo aeroespacial incluye el desarrollo de tecnologías complementares, como radares y sistemas de protección de vuelo, esenciales para la defensa y el control del tráfico aéreo.**



PABLO ANDRÉS ORTEGA CHÁVEZ / CREATIVE COMMONS



tableció y se expandió, *de hecho*, un sistema de innovación de alcance local, asentado en el trípode representado por actividades de enseñanza, investigación y desarrollo, además de fomento industrial. El objetivo era hacer al país dominar el ciclo completo de tecnologías aeronáuticas, con énfasis en la formación de recursos humanos calificados y en el desarrollo autóctono de tecnologías aeronáuticas incorporadas en productos de uso civil y militar.

El desarrollo de ese sistema de innovación ha contado, a lo largo del tiempo, con fomento, iniciativas, impulsos y recursos provenientes de políticas, planes y programas del gobierno federal, del gobierno del estado de São Paulo y de la alcaldía de São José dos Campos.

La base de ese sistema de innovación está fundamentado en la importancia de su principal empresa, la Embraer, y en la actuación del Departamento de Ciencia y Tecnología Espacial (DCTA), organización del Comando de la Aeronáutica, y del Instituto Nacional de Actividades Espaciales (INPE), creado por ex-alumnos del ITA. Además, también está instalado en São José dos Campos el acuerdo productivo aeroespacial y de defensa, constituido por cerca de sesenta empresas que integran la cadena de suministro de la Embraer.<sup>6</sup>

En conjunto, la vinculación del CTA, actualmente DCTA, con las actividades de enseñanza, investigación y desarrollo, innovación y fomento industrial, con énfasis en aeronáutica, espacio y defensa, también ha contribuido a desarrollar tecnologías complementarias, necesarias a la operación de medios aéreos, como radares y sistemas de

protección de vuelo, esenciales al desarrollo y a la operación de sistemas integrados de defensa y de control de tráfico aéreo. Resalta que en el *campus* del DCTA también están instalados el Instituto de Control del Espacio Aéreo (ICEA) y la unidad de educación e investigación y desarrollo del Departamento de Control del Espacio Aéreo (DCEA), también del Comando de la Aeronáutica.

La actuación del DCTA también propició efectos de trasposición, con el desarrollo de tecnologías aplicadas a otros sectores, además del aeronáutico y espacial. Entre ellas, están tecnologías que contribuyeron a la implantación y el desarrollo del Programa Nacional del Alcohol, a mediados de la década de 1970, destinado a sustituir gasolina por etanol en vehículos automotores, y productos innovadores para otros sectores, como las urnas electrónicas.

Los segmentos de enseñanza media y superior del municipio se beneficiaron con la presencia y la actuación del DCTA y de sus institutos, que contribuyeron a establecer organizaciones como la Fundación Valeparaibana de Enseñanza, la Escuela Técnica Everardo Passos (ETEP) y la Escuela de Ingeniería Industrial (EEI). Además, ya en el siglo XXI los gobiernos federal y estadual implantaron nuevos agentes educacionales, siendo las principales universidades la Unesp (gobierno de São Paulo) y la Unifesp (gobierno federal), además de la Fatec.

Las entidades interesadas en promover la integración de organizaciones del sector aeronáutico, como la Asociación de la Industria Ae-

roespacial Brasileña (AIAB), fundada en 1990, han actuado como importantes *stakeholders*, o partes interesadas, de este sector junto a las diferentes esferas y entidades gubernamentales y privadas. Además de eso, en la década de 2000 fueron inaugurados el Parque Tecnológico de São José dos Campos y el Centro para la Competitividad y la Innovación del Cono Este Paulista (Cecompi).<sup>7</sup> El municipio también cuenta con el Parque Tecnológico de la Universidad del Vale do Paraíba, cuyo actual rector ya fue rector del ITA.

La creación del Cecompi y del Parque Tecnológico de São José dos Campos fue resultado de la iniciativa política y de la visión estratégica que comprendieron la importancia del municipio profundizar su posicionamiento en los sectores aeroespacial y de defensa, además de constituir y ocupar posiciones destacadas en nuevos sectores, como el de tecnologías de la información y comunicación, energía, biotecnología, salud, medio ambiente y seguridad pública, entre otras áreas portadoras de futuro.

Ambos parques abrigan empresas nacionales y extranjeras de los más variados segmentos productivos. El *cluster* aeroespacial brasileño, institución ejecutora del Proyecto Sectorial Aeroespacial de la Agencia Brasileña de Promoción de Exportaciones e Inversiones (Apex) y de la Agencia Brasileña de Desarrollo Industrial (ABDI), se formó en 2009, reuniendo 94 empresas del complejo industrial aeroespacial y de defensa (Cecompi, 2017).

La Agencia Nacional de Aviación Civil (Anac) cuenta con una unidad regional instalada en São

José dos Campos, que incorporó recursos humanos y el acervo técnico acumulados por el Instituto de Fomento y Coordinación Industrial (IFI), del Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial, en lo tocante a la certificación civil de productos y servicios aeronáuticos. La certificación de productos aeroespaciales militares continúa siendo ejecutada por el IFI.

El sistema de innovación de São José dos Campos también concentra la mayor parte de las actividades de desarrollo científico, tecnológico e industrial que se ejecutan en el sector espacial en el país, por medio del Polo Espacial de São José dos Campos. A pesar de no ser la esencia de este artículo, caben algunas consideraciones sobre él, pues se constituyó con la misma base y presenta complementariedades productivas y tecnológicas.

Se destaca la creación del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe) como iniciativa estratégica del gobierno federal a partir del inicio de la década de 1960, para integrar al país en las actividades de exploración espacial, a ejemplo de lo que ya habían realizado los países centrales, como los Estados Unidos, la Unión Soviética, Francia y Alemania. En torno del DCTA y del Inpe viene desarrollándose la industria espacial brasileña y sus organizaciones, como la de la Visiona, de la Cenic, de la Orbital y de la Equatorial, entre otras. Ellas participan de las actividades previstas por el Plan Nacional de Actividades Espaciales, cuya ejecución es coordinada por la Agencia Espacial Brasileña (AEB). En este caso, diferentemente del polo aeronáutico, está en curso un pro-

ceso de inducción al desarrollo de la industria espacial, conocido como *forward linkages*, en el que la industria se amplía, progresivamente, a partir de las instituciones responsables por producir el conjunto inicial de conocimientos y de capacitación. Tales instituciones, en este caso, son el DCTA y el Inpe, que transfieren activos intelectuales al sector privado.<sup>8</sup>

Además de eso, concomitante a los polos aeronáutico y aeroespacial, un conjunto de empresas e instituciones también se han desarrollado en el área de la defensa como una transposición resultado del círculo virtuoso. Son ejemplos la propia Embraer, la Avibrás y sus subsidiarias, la Engesa,<sup>9</sup> la Tecna<sup>10</sup> y, más recientemente, empresas como la Mectron y las subsidiarias de la Embraer, como la Embraer Defensa y Seguridad, la Atech y la Bradar. Tales empresas ejecutan actividades previstas en instrumentos nacionales de planificación, reunidos, en especial, en la Estrategia Nacional de Defensa (END).<sup>11</sup>

La cooperación internacional ha abarcado iniciativas de trabajo conjuntas con instituciones que desean colaborar con el sistema de innovación de São José dos Campos, con expresiva participación del DCTA, incluyendo el ITA y el parque tecnológico en el establecimiento de asociaciones.<sup>12</sup>

En suma, las afirmaciones anteriores demuestran la relevancia de establecer polos ligados al DCTA y sus institutos para promover el engrosamiento productivo y desarrollo económico de la región favoreciendo la instalación en el municipio de empresas relevantes en diversos sectores de base tecnoló-

gica, como el automovilístico, de telecomunicaciones, de salud, electrónico, biotecnología, fotografía, aire acondicionado, biotecnología y aceite y gas. Desde mediados del siglo XX, se instalaron en la ciudad de São José dos Campos unidades industriales de empresas que son global players, como General Motors, Ericsson, Johnson & Johnson,



**Una gran aeronave de carga y un nuevo avión de caza representan nuevos desafíos tecnológicos para Brasil.**

National Panasonic, Philips,<sup>13</sup> Kodak,<sup>14</sup> Hitachi, Monsanto, Solectron<sup>15</sup> y Petrobras (por medio de su refinería del Vale do Paraíba).

Recientemente, se deben destacar nuevas estrategias para impulsar y desarrollar el sistema de innovación de São José dos Campos a partir de iniciativas del Ministerio de Defensa. En los últimos años, el

desarrollo de la aeronave de carga KC-390 (Ribeiro, 2017) y el contrato de *offset* para el caza Gripen NG (programa F-X2) con la empresa sueca Saab han sido los principales programas fomentadores de nuevas tecnologías y empresas en el sector aeronáutico.<sup>16</sup> El presupuesto estimado para esos programas es de US\$ 4,5 billones y



US\$ 5,4 billones, respectivamente (Ministerio de Planificación, 2014). Desde 2005 un reglamento del Comando de la Aeronáutica (DCA-360/1) establece que cualquier importación de bienes o servicios por encima de US\$ 5 millones debe vincularse a algún contrato de compensación para empresas brasileñas, aumentando las capacidades del IFI de hacer acuerdos que favorezcan la industria nacional (Ministerio de Planificación, 2014).

El ITA, a su vez, viene implementando en los últimos años un programa de expansión, que incluye el aumento del número de ingenieros graduados por el instituto. Anexo, existe el proyecto para implantar un centro de innovación que operará tanto en el *campus* del DCTA como en el Parque Tecnológico de São José dos Campos y un programa de formación complementario en innovación, ya en funcionamiento.

## Las demás experiencias internacionales

La experiencia alrededor del mundo ha mostrado que la estrategia de *clusters* productivos y de innovación con generación de capacidades de engrosamiento tecnológico es usual en la competencia de empresas de la industria aeronáutica y aeroespacial (Niosi; Zhegu, 2005). Recientemente, se percibe un proceso de reubicación que viene transfiriendo capacidades productivas de países desarrollados para países en desarrollo (Niosi; Zhegu, 2010). Es importante observar otras experiencias internacionales, principalmente en situaciones comparables con las del

polo de São José dos Campos, para iluminar problemas sobre fuerzas y desafíos para la región.

### Montreal

El *cluster* de Montreal,<sup>17</sup> denominado Aéro Montréal, tiene como empresa más importante la Bombardier, la principal concurrente de Embraer. Fue creado en 2006. En su propio concepto, es un *think tank* estratégico que reúne los principales tomadores de decisión del sector aeroespacial de Québec, incluyendo empresas, instituciones educativas y de investigación, asociaciones y sindicatos.

El Aéro Montréal adoptó un plan de acción estratégico que incluye la creación de grupos de trabajo dedicados a las siguientes áreas: desarrollo de la cadena de abastecimiento, *branding* y promoción, innovación, recursos humanos, defensa y seguridad nacional, desarrollo de mercados y comercialización. Esa actuación estratégica que incide en los cambios estructurales de la industria se muestran importantes para nortear el desarrollo de las empresas que actúan en el *cluster*.

Por ejemplo, se percibe que los *prime contractors* están reduciendo el número de suministradores, prefiriendo trabajar con un número menor de compañías intermedias que ofrezcan soluciones integradas y gerencien subcontratados. Por consecuencia, las cadenas globales de suministro pasan a favorecer el surgimiento y el desarrollo de integradores capaces de proyectar, fabricar y montar sistemas completos. Suministradores de esas cadenas deben perfeccionar sus prácticas operacionales, elevar su capacidad de innovación y promo-

ver asociaciones, para trabajar en conjunto, volviéndose más competitivos y reforzando sus posiciones en las cadenas.

Además de esto, el Aéro Montréal estableció un Grupo de Trabajo de Desarrollo de la Cadena de Valor, compuesto por trece representantes de sus empresas, con el propósito de supervisar la planificación, coordinación y la implementación de un plan de acción para responder a los principales desafíos de la subcontratación, elevar la competitividad de los suministradores del *cluster* aeroespacial de Québec y fortalecerlo ante la competencia internacional.

De manera general, el Aéro Montréal promueve el crecimiento del *cluster* aeroespacial canadiense por medio del engrosamiento de sinergias, procurando mantener la posición que conquistó en el mundo. Actúa para reforzar y consolidar su posicionamiento estratégico, promoviendo el desarrollo de mercados para sus empresas. En este sentido, mercados emergentes y de nicho representan oportunidades para el sector aeroespacial, así como aquellas resultado del empleo de *drones* y de actividades de MRO (Maintenance, Repair, and Operations).

### Aerospace Valley (Francia) y Netherlands Aerospace Group (Holanda)

El Aerospace Valley<sup>18</sup> apoya empresas que hacen gran competencia al sistema de innovación de São José dos Campos, como la Airbus, que recientemente incorporó la división de aeronaves regionales de la Bombardier (esta, a su vez, apoyada por Aéro Montréal).

Creado en 2005, el Aerospace Valley es considerado el más importante polo de competitividad e innovación de Francia en los sectores de aeronáutica, espacio y sistemas a bordo. Cuenta con más de 840 miembros, tanto de la industria como de la academia. Posee oficinas en Toulouse y Bordeaux, y su cluster de innovación abarca dos regiones geográficas adyacentes del suroeste francés, la Occitania y la Nueva Aquitaine. El cluster ofrece 124 mil empleos industriales, lo que corresponde a 1/3 de la fuerza de trabajo francesa en el sector aeroespacial. Reúne también 8,5 mil investigadores y científicos, que representan 45% del potencial francés en investigación y desarrollo en el sector aeroespacial. El Aerospace Valley obtuvo el financiamiento de 475 proyectos, totalizando 1,2 billones de euros (datos de junio de 2016). El cluster francés pretende crear de 35 mil a 40 mil nuevos empleos hasta 2025, en el marco del programa francés de polos de competitividad.

El Netherlands Aerospace Group (NAG) se preocupa con la continua preparación de sus miembros para la competencia internacional, por medio del apoyo a acciones dirigidas al intercambio de conocimiento, la defensa de los intereses del sector, el acceso a mercados nacionales e internacionales y a las organizaciones del grupo. El NAG reúne cerca de cien organizaciones, que representan aproximadamente 95% de las rentas del sector aeroespacial holandés. Los miembros del NAG se sitúan en la frontera del conocimiento en áreas como nuevos materiales, tecnologías de producción, manutención

y desarrollo aeroportuario. El NAG posee una representación en Brasil. Es importante resaltar que el sector aeronáutico holandés presenta una renta anual consolidada de 5,5 billones de euros, ocupando el sexto lugar en Europa y empleando cerca de 20.200 funcionarios. El sector invierte cerca de 8% de la facturación anual en investigación y desarrollo, distribuido en más de cien empresas e instituciones de investigación, como la Universidad Tecnológica de Delft, la Universidad de Twente y los Laboratorios Aeroespaciales Holandeses (NLR).<sup>19</sup> La Embraer Netherlands integra el NAG.<sup>20</sup>

### México

El Monterrey Aerocluster fue creado en 2009, de acuerdo con el modelo de hélice triple, agrupando seis empresas, dos universidades y dos entidades gubernamentales. El cluster aeroespacial del estado de Nuevo León tiene como objetivo promover la integración regional para el desarrollo del sector aeroespacial. Su actuación es dirigida a incorporar empresas locales a las cadenas de valor nacionales e internacionales, por medio del desarrollo de proyectos que fomenten sinergias entre actores locales.<sup>21</sup> La actuación del cluster es apoyada por facilidades especializadas, como el Centro de Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIA), la Universidad Abierta de Nuevo León (UANL) y el Parque Tecnológico de Monterrey, el que, como la universidad, tiene importante actuación en áreas como nuevos materiales y nanotecnología. El CIIA es asociado a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Aeronáutica (FIME) de la UANL.

México también dispone del Aerospace Querétaro, un agente de cambio que facilita y amplía las oportunidades para desarrollar la industria aeroespacial a nivel estatal, nacional e internacional. El cluster coordina la actuación de empresas, centros de investigación, instituciones de enseñanza y organizaciones gubernamentales, como también el desarrollo y la integración de empresas pequeñas, medias y grandes en la cadena de valor aeroespacial. También ejecuta planes y programas innovadores para establecer alianzas estratégicas entre los actores de la cadena de valor aeroespacial.<sup>22</sup>

México es considerado una región estratégica para la manufactura de componentes aeronáuticos, con un crecimiento de 15% al año durante los últimos tres años. El país ha demostrado gran capacidad para atraer inversiones extranjeras por medio de nuevos proyectos de investigación, desarrollo e innovación. La industria aeronáutica mexicana está orientada para proyecto, manufactura, mantenimiento y servicios de entrenamiento. Los estados de Baja California, Nuevo León, Querétaro, Chihuahua y Sonora abrigan la mayor parte de las empresas aeronáuticas instaladas en el país, con algo en torno de 45 mil profesionales.

El programa también incluye el empeño del gobierno, la industria y la academia en el desarrollo de sectores estratégicos aún no instalados en el país, como sistemas propulsivos, de control de vuelo y de aviónica, áreas en que Brasil también presenta carencias en su cadena productiva aeronáutica.<sup>23</sup> Organizaciones de gran relevancia para

la búsqueda de estos objetivos son el Centro para la Ingeniería y el Desarrollo Industrial (CIDESI) y el Centro de Tecnologías Aeronáuticas (CENTA), en la ciudad de Santiago de Querétaro. Se debe hacer notar que el CENTA viene realizando el proyecto de una aeronave enteramente desarrollada por especialistas mexicanos. La organización busca desempeñar un papel similar al del DCTA en el fomento de la industria aeronáutica brasileña.

## Estados Unidos

Se debe tratar del *cluster* aeroespacial situado en el estado de Washington,<sup>24</sup> particularmente cuando se considera la asociación, en curso, de la Embraer con la Boeing. Este cluster fue el primero en establecerse en el sector aeroespacial y es el mayor de ellos. Comenzó en 1916, con un único y modesto granero rojo en Seattle. Hoy, emplea más de 132 mil personas, en más de 1.350 empresas. La industria aeronáutica del estado de Washington generó US\$ 76 billones de actividad económica en 2012, pagando un total de US\$ 11,5 billones en salarios, lo que representó 11% del total de salarios pagados en la región.

En el estado de Washington, cerca de 175 empresas trabajan directamente en la industria aeroespacial, generando 94.200 empleos en 2012. Empresas directamente relacionadas al sector generaron 38.300 empleos adicionales, en un total de 1.350 firmas.<sup>25</sup>

Las empresas del *cluster* aeroespacial del Estado de Washington tiene vínculos con la cadena global de fabricantes aeronáuticos, incluyendo la Airbus, la Bombardier, la

Comac, la Mitsubishi Aircraft Company y la Embraer. Entre las empresas norteamericanas que suministran partes para la Airbus, el concurrente europeo de la Boeing, el estado de Washington sólo está atrás de California.

Él entiende que, con el crecimiento mundial de *clusters* aeroespaciales, necesita competir cada vez más por nuevos negocios. Fabricantes aeronáuticos cuentan con un número creciente de locales alternativos para montar sus aeronaves. Con ello, un atributo relevante para la atracción de nuevos negocios es el acceso a recursos humanos y a facilidades especializadas. La Universidad de Washington (Seattle) se ha convertido en una de las universidades públicas norteamericanas en ocupar un papel de liderazgo en el apoyo al desarrollo de nuevas tecnologías aeroespaciales, al tiempo en que la Universidad del Estado de Washington (Pullman) está ampliando sus programas de ingeniería en Everett, asumiendo la gestión del Centro Universitario de North Puget Sound.

## Portugal

El *cluster* portugués posee cerca de sesenta empresas, facturó 1,87 billones de euros en 2017 y representó 1,2% del PIB del país, empleando 18.500 personas, con 87% de su producción destinada a la exportación. La industria está compuesta principalmente por pequeñas empresas. Nueve institutos de investigación y cuatro universidades forman aproximadamente 120 ingenieros espaciales por año.<sup>26</sup>

El polo portugués, que no existía hasta 2007, tiene hoy un tamaño comparable con la totalidad de

empleos generados en la industria aeronáutica brasileña. Es fruto de política reciente, establecida de manera coordinada y direccionada por el gobierno portugués para cumplir metas específicas de engrosamiento del sistema de innovación. La institución de soporte al cluster sólo inició sus operaciones en 2016.<sup>27</sup> La Embraer posee dos fábricas y un centro de ingeniería en Portugal, contando con aproximadamente 450 empleados y suministrando productos para las tres áreas de negocio de la empresa (comercial, ejecutiva y defensa).

## Conclusiones y observaciones

El *cluster* aeronáutico brasileño comenzó a existir en la década de 1940. Desde entonces, vio a su principal empresa convertirse en líder mundial en la fabricación de aeronaves en su segmento. Su desarrollo está directamente ligado a la evolución de las relaciones y de las instituciones del sistema de innovaciones de São José dos Campos. Por su relevancia, es frecuentemente señalado en la literatura académica y profesional como un caso de éxito de política industrial. Posee superávits comerciales sostenibles, emplea aproximadamente 17 mil personas y tiene aproximadamente cien empresas operando en su entorno.

A pesar de esos resultados, todavía mucho se discute sobre la sustentabilidad a largo plazo de la competitividad nacional, vista la desigualdad en las capacitaciones de las empresas que operan en ese *cluster*. A pesar del éxito de la Embraer, la inserción de empresas bra-

sileñas que operan con mayor agregación de valor es débil. La Akaer, asociada a la SAAB, puede convertirse en la primera en conquistar tal posición. Ninguna empresa brasileña es socia de riesgo de la Embraer o de cualquier montadora aeronáutica global. Eso refleja el hecho de que la capacidad productiva e innovadora del complejo industrial brasileño está concentrada en su empresa líder y en el Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial.

Entre los desafíos de la industria aeronáutica brasileña se incluye la necesidad de perfeccionar constantemente las empresas que componen su cadena de suministro, además de ampliar el alcance y la profundidad de su cadena de abastecimiento, con la integración, a esta cadena, de mayor número de empresas en sus niveles superiores, próximos de su empresa central, tanto por medio de la evolución de las empresas locales para posiciones de mayor valor agregado de la cadena como por el establecimiento de nuevas organizaciones, en un proceso que ha sido denominado de engrosamiento de la cadena productiva.

Las observaciones internacionales muestran que, independientemente de la madurez de las empresas, estrategias específicas lideradas por agentes agregadores han sido importantes, con el establecimiento de asociaciones representativas de los *clusters*, además de planificaciones estratégicas bien establecidas, con buena coordinación entre los agentes.

Este posicionamiento representa significativos desafíos competitivos para el acuerdo local y requiere las necesarias respuestas para ase-

gurar su expansión y sustentabilidad futuras. Tales respuestas pueden incluir planes y programas estratégicos de desarrollo, para enfrentar la competencia. Iniciativas como el establecimiento de asociaciones o uniones estratégicas, a ejemplo de aquella que está en curso entre la Embraer y la Boeing, pueden ser consideradas. Adiciónese que esta posible asociación puede tener impactos de gran relevancia, pero difíciles de ser evaluados y previstos, sobre la industria y el ecosistema local de innovación. Probablemente habrá profundas y relevantes consecuencias sobre la arquitectura de investigación, desarrollo, innovación e industria que se estableció localmente en los últimos setenta años, así como sobre sus *stakeholders*.

El análisis y la toma de decisiones sobre la configuración final deben merecer amplia reflexión, a consecuencia de sus impactos sobre el ecosistema local de innovación y sus contribuciones para el desarrollo económico y social.

Finalmente, los estímulos más recientes para el sistema de innovación de São José dos Campos han traído desafíos relacionados a la continua promoción de la innovación y de la competitividad en sus sectores tradicionales de actuación, por medio del desarrollo y perfeccionamiento de sus componentes estructurales, así como de la obtención de competencias y de su capacidad de actuar en nuevos sectores. La ejecución de los programas de desarrollo y la producción de nuevas aeronaves, como el KC-390 y el FX-2, anteriormente mencionados, y equipos espaciales, como lanzadores y satélites, deberán traer contribuciones importantes para la

adquisición y la internalización de nuevos activos tecnológicos e industriales, y para la ampliación y el engrosamiento de las cadenas de valor aeronáutica, espacial y de defensa. Estos programas también contribuirán a que se enfrenten los desafíos y la concurrencia internacional en los segmentos de la aviación comercial en que Embraer ocupa posición de liderazgo.

A modo de ejemplo de estos desafíos, dígame que en noviembre de 2015 la Commercial Aircraft Corporation of China (Comac), estatal china fabricante de aeronaves, presentó el C919, la mayor aeronave comercial ya desarrollada en China, que pretende concurrir con modelos similares, el Boeing 737-800 y el Airbus A 320.<sup>28</sup> También podrá concurrir con las versiones superiores de la nueva familia de jets regionales de la Embraer, en desarrollo.

Estos desafíos deben ser encarados con unión, con estrategias de relacionamiento entre todos los agentes del sistema de innovación, con la internacionalización de los contactos y de las capacidades locales. Los autores de este artículo entienden que existen capacidades importantes en la región. En estudio reciente de la Consultoría fDi Intelligence, revista especializada en mercado internacional del periódico *The Financial Times*, São José dos Campos fue indicada como la principal ciudad del mundo en el *ranking* de potencial estratégico para inversión directa extranjera en el sector aeroespacial.<sup>29</sup> Se hacen importantes, sin embargo, visión sistémica y actuación conjunta para buscar un desarrollo económico y social sustentado y competitivo.

## Notas

1. Como destacado por Hausmann y Rodrik (2003, p.605), '...even when the production techniques used in the advanced countries are transparent to outsiders, their transfer to new economic and institutional environments typically requires adaptations with uncertain degrees of success'.
2. El Plan Smith, elaborado por el entonces Teniente Coronel de la Fuerza Aérea Brasileña, Casimiro Montenegro Filho, y el Profesor Richard Harbert Smith, del MIT, estableció el modelo del Centro Técnico de Aeronáutica (CTA) y sus institutos iniciales, el Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), y el Instituto de Investigación y Desarrollo (IPD). En el IPD fue realizado el desarrollo de la aeronave Bandeirante, por medio de la ejecución del Proyecto IPD-6504, cuyo vuelo inicial se dio en el año 1968. El éxito del proyecto hizo posible la creación de la Embraer, por medio de iniciativa del Ministerio de la Aeronáutica, apoyada por el Gobierno Federal.
3. La certificación de la aeronave Bandeirante por el CTA/IFI fue esencial para su exportación y su éxito en mercados internacionales.
4. "Durante el mismo período, la Embraer también buscó incentivar el engrosamiento de los suministradores nacionales. Para la subcontratación de piezas acabadas, la Embraer estableció el concepto de "suministrador integrado", considerando que no sería racional programar y controlar ocho mil items en un universo de cincuenta suministradores. Por eso, se concentró en los suministradores más bien equipados, que en beneficio propio asumieron la tarea. Inicialmente, doce pequeñas empresas fueron seleccionadas, con datos de planificación de un año con base en la previsión de ventas de la Embraer. Ese concepto funcionó bien hasta el inicio de los años 1990, cuando la crisis económica interrumpió la red de suministradores integrados' (FERREIRA, 2009, p. 173-174).
5. En el ERJ-145 habían cuatro socios de riesgo: Gamesa (Spain), Sonaca (Belgium), C&D (United States) y Enaer (Chile). En el proyecto ERJ-170/190 había un total de 11 asociaciones de riesgo.
6. Se estima que la industria aeronáutica brasileña, establecida, en su mayor parte, en São José dos Campos, haya generado, acumulativamente, superávits comerciales para el país superiores a treinta billones de dólares, desde su constitución, a partir de la creación de la Embraer y de su ingreso, muy exitoso, en la industria aeronáutica internacional, evidenciando su potencial y la capacidad de generación de valor económico, apoyado en la producción e incorporación de innovaciones tecnológicas, capacidades estas especialmente ampliadas por el Sistema de Innovación que se estableció en la región.
7. Una de las referencias para la concepción del Cecompi fue el Council on Competitiveness Center, fundado en 1986, que es una *non-partisan leadership organization of corporate CEOs, university presidents, labor leaders and national laboratory directors committed to advancing U.S. competitiveness in the global economy and a rising standard of living for all Americans*. Fuente: <http://www.compete.org/about>, acceso el 13 de enero de 2016.
8. Este proceso (forward linkages) del sector espacial no ha presentado la misma eficacia de los *backward linkages*, que han promovido el desarrollo de la industria aeronáutica y su consolidación. El aumento del desempeño del proceso inductor de la expansión de la industria espacial se constituye en un desafío significativo para el Sistema Municipal de Innovación, dada la esencialidad de este sector al desarrollo económico y a la soberanía nacional. La constitución de la Visiona, que es una joint-venture establecida por Telebrás y la Embraer, tiene carácter estratégico para el desarrollo de la industria espacial brasileña, y podrá desempeñar, para este sector, papel análogo al realizado por la Embraer como la organización integradora de la industria aeronáutica y promotora de su desarrollo.
9. La Engesa, a consecuencia del incremento de conflictos bélicos internacionales, cerró sus operaciones en São José dos Campos.
10. La Tecnasa, a consecuencia del incremento de la evolución tecnológica de sistemas de protección de vuelo y de sistemas embarcadas y de telecomunicaciones, cerró sus actividades en São José dos Campos.
11. La Estrategia Nacional de Defensa está enfocada en acciones estratégicas de medio y largo plazo, y objetiva modernizar la estructura nacional de Defensa, actuando en tres ejes estructurantes: reorganización de las Fuerzas Armadas, reestructuración de la industria brasileña de material de defensa, y política de composición de los efectivos de las Fuerzas Armadas. Fuente: <https://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>. Acceso en 02 de octubre de 2018.
12. Se señala como ejemplo la Universidad Autónoma de Nuevo León – UANL –, situada en Monterrey, México, por medio de su Facultad de Ingeniería Eléctrica y Mecánica – FIME – y del Centro de Pesquisa e Innovación en Ingeniería Aeronáutica (CIIIA), que viene estableciendo, desde 2014, esfuerzos cooperativos con el ITA, en el área de Ingeniería Aeronáutica. Se ha igualmente procurado establecer actividades conjuntas entre el Acuerdo Productivo Local (APL) Aeroespacial y de Defensa con el *cluster* aeronáutico localizado en Monterrey. De la misma forma, actividades de cooperación con la Asociación de las Empresas Aeroespaciales Holandesas – el NAG – han sido promovidas, ambas intentando, entre otras finalidades, fomentar la internacionalización del APL.
13. Kodak, a consecuencia de la evolución de la fotografía digital y de reestructuración organizacional, cerró su operación en São José dos Campos.
14. Philips, a consecuencia de la evolución de la tecnología de proyección de imágenes y de reestructuración organizacional, cerró sus operaciones en São José dos Campos.
15. Solecron, una empresa que fabrica, bajo contrato, equipamientos electrónicos para OEMs del sector, cerró sus actividades en São José dos Campos, a consecuencia de decisión corporativa. Sus facilidades fueron entonces adquiridas por la Alcaldía Municipal de São José dos Campos, y fueron destinadas al Parque Tecnológico del municipio.
16. Ambos programas son regidos por la Comisión Coordinadora del Programa Aeronave de Combate – COPAC, que es un órgano integrante del Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial (DCTA).
17. Fuente: <https://www.aeromontreal.ca/who-we-are.html>, acceso el 03 de octubre de 2018.
18. Fuente: <http://www.aerospace-valley.com/en>, acceso el 03 de octubre de 2018.
19. Fuente: <https://nag.aero/sector/>, acceso el 04 de octubre de 2018.

20. Fuente: <https://nag.aero/members/embraer-netherlands/>, acceso el octubre de 2018.
21. Fuente: <http://www.monterreyaerocluster.com/nosotros/>, acceso el 03 de octubre de 2018.
22. Fuente: <https://aeroclusterqueretaro.mx/about/>, acceso el 03 de octubre de 2018.
23. Fuente: <https://www.cidesi.com/rtna/index.html>, acceso el 03 de octubre de 2018.
24. Fuente: <https://aviationbenefits.org/case-studies/washington-state-the-ultimate-aerospace-cluster/>, acceso el 03 de octubre de 2018.
25. En diciembre de 2013, la Boeing empleaba cerca de 82.000 trabajadores en el Estado de Washington. En 2012, la empresa pagó más de US\$ 4,6 billones de dólares para sus 2.042 suministradores. De acuerdo con el Departamento de Comercio del Estado, las exportaciones de la empresa representaron 53% del total exportado, en el año de 2013, totalizando US\$ 43,6 billones de dólares, lo que correspondió a un aumento de 61%, desde 2011. Las proyecciones son de que este desempeño crezca en los próximos años, en la medida en que el nivel de producción de la empresa se eleva para atender la demanda mundial por transporte aéreo. En la fábrica de la Boeing, en Renton, la producción ha alcanzado 42 unidades mensuales, que deben elevarse para 52 unidades, en 2019.
26. <https://observador.pt/2018/05/25/setor-aeronautico-em-portugal-quer-atingir-3-dopib-em-cinco-anos/>. Acceso el 02 de octubre de 2018.
27. Fuente: <http://www.aedportugal.pt/>. Acceso el 04 de octubre de 2018.
28. El C919 es un jet de fuselaje estrecho (*narrow-body*) y bimotor. Según el fabricante chino, la versión básica puede acomodar 158 pasajeros divididos en dos clases o 168 en clase única. La Comac todavía sugiere una configuración de “alta densidad”, con 174 asientos. Ya el alcance del modelo patrón es 4.075 km o 5.500 km en la versión de alcance extendido “C919 All ECO”. Fuente: <http://airway.uol.com.br/china-apresenta-jet-comercial-para-brigar-com-airbus-e-boeing/>, acceso el 02 de noviembre de 2015.
29. <https://www.fdiintelligence.com/Rankings/fDi-s-Aerospace-Cities-of-the-Future-2018-19-FDI-Strategy>. Acceso el 02 de octubre de 2018.

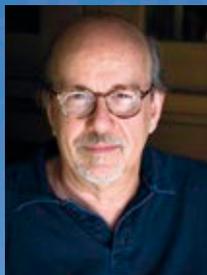
## Referencias

- BERNARDES, R. *Redes de innovación y cadenas productivas globales: impactos de la estrategia de competencia de la Embraer en el acuerdo aeronáutico de la región de São José dos Campos*, n° 23. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. Disponible en: <<http://www.ie.ufrj.br/redesist/P2/textos/NT23.PDF>>. Acceso el 11 set. 2017.
- BERTAZZO, R. P. *La crisis de la industria aeronáutica brasileña: 1945-1968*. 2003. 50 f. UFJF, 2003.
- CABRAL, A. S. *Análisis del desempeño tecnológico de la industria aeronáutica brasileña*. 1987. 241 f. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 1987.
- CECOMPI. *Brazilian Aeronautical Cluster*. Disponible en: <<http://www.cecompi.org.br/aero/pt/>>.
- COOKE, P. Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, v. 10, n. 4, p. 945–974, 2001.
- DAGNINO, R. *La Industria aeronáutica*, Nota Técnica Sectorial. Campinas: [s.n.], 1993.
- FERREIRA, J. M. B. *et al. Informe de acompañamiento sectorial: industria aeronáutica*. Brasília: [s.n.], 2009. Disponible en: <[http://www.abdi.com.br/Estudo/Aeronautico\\_-\\_junio2009.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/Aeronautico_-_junio2009.pdf)>.
- FLORIDA, R. Toward the Learning Region. *Futures*, v. 27, n. 5, p. 527–536, 1995.
- FRANCELINO, J. DE A. *Impactos tecnológicos de programas de adquisición de aeronaves militares sobre el nivel de capacitación de la industria aeronáutica brasileña*. 2016. 345 f. Instituto Tecnológico de la Aeronáutica, 2016.
- FREEMAN, C. *Economics of Innovation*. London: Routledge, 1992.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, v. 31, p. 247–264, 2002.
- NIOSI, J.; ZHEGU, M. Aerospace Clusters: Local or Global Knowledge Spillovers? *Industry and Innovation*, v. 12, n. 1, p. 1–25, 2005.
- NIOSI, J.; ZHEGU, M. Multinational Corporations, Value Chains and Knowledge Spillovers in the Global Aircraft Industry. *International Journal of Institutions and Economics*, v. 2, n. 2, p. 109–141, 2010. Disponible en: <<http://ijie.um.edu.my/RePEc/umk/journal/v2i2/FullText1.pdf>>. Acceso el 18 abr. 2018.
- PIETROBELLI, C.; RABELLOTTI, R. The Global Dimension of Innovation Systems: Linking Innovation Systems and Global Value Chains. In: LUNDEVALL, B.A.; JOSEPH, K. J.; CHAMANADE, C. . V. J. (Org.). *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries*. [S.l.]: Edward Elgar, 2009.
- PLANIFICACIÓN, MINISTERIO DE. *Nuevo avión de la Embraer refuerza la FAB y también la industria brasileña*. Disponible en: <<http://www.pac.gov.br/noticia/50e9eb60>>.
- RIBEIRO, C. G. Desarrollo tecnológico nacional: el caso KC-390. In: RAUEN, A. T. (Org.). *Políticas de innovación por el lado de la demanda en Brasil*. Brasília: IPEA, 2017. p. 486. Disponible en: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/politicas\\_de\\_inovacao\\_cap06.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/politicas_de_inovacao_cap06.pdf)>. Acceso el 10 jul. 2017.
- STURGEON, T. *et al. Brazilian Manufacturing in International Perspective: A Global Value Chain Analysis of Brazil's Aerospace, Medical Devices, and Electronics Industries*. Durnham: [s.n.], 2013. Disponible en: <[https://gvcc.duke.edu/wp-content/uploads/CNI\\_Brazil\\_GVC\\_Report\\_Final\\_2013-09-05.pdf](https://gvcc.duke.edu/wp-content/uploads/CNI_Brazil_GVC_Report_Final_2013-09-05.pdf)>. Acceso el 21 mar. 2018.
- VINHOLES, T. Embraer presenta E195-E2, el mayor avión desarrollado en Brasil. *Airway Uol*, p. 2, 2017. Disponible en: <<https://airway.uol.com.br/embraer-apresenta-e195-e2-o-mayor-aviao-desenvolvido-no-brasil/>>.

# Cooperación y competencia en el singular SISTEMA ELÉCTRICO BRASILEÑO

La creación de un sistema interconectado de generación y transmisión de energía eléctrica de base hídrica, en un enorme territorio tropical que abriga ríos caudalosos y extensos, fue una hazaña tecnológica de primer orden. La operación conjunta y planificada permite que el sistema disponga de una energía garantizada 20% superior a la suma de las energías ofertadas por las centrales, vistas aisladamente. Eso equivale prácticamente a una central de Itaipú. Las modificaciones que están siendo introducidas desde la década de 1990 violentan la lógica cooperativa original, aumentando la complejidad operacional y disminuyendo la eficiencia y la confiabilidad del sector.





### **Roberto Pereira D'Araújo**

Ingeniero electricista, ex-jefe del Departamento de Estudios Energéticos y de Mercado de Furnas Centrales Eléctricas, director del Instituto de Desarrollo Estratégico del Sector Eléctrico (Ilumina).

## **Introducción**

Mucho se dice que la gran novedad actual, en la economía y en la sociedad, es la creciente conectividad entre equipamientos y entre personas. Pocos saben, sin embargo, que el sistema eléctrico brasileño anticipó en décadas ese concepto, creando una solución tecnológica de punta y adaptada a las condiciones del país.

La historia comienza en el Proyecto Canambra, consorcio formado por dos empresas canadienses de consultoría – la Montreal Engineering y la Crippen Engineering –, contratado por el gobierno brasileño y el Banco Mundial en 1962, el mismo año de fundación de Eletrobras. El objetivo era realizar estudios sobre el potencial hidroeléctrico y de mercado de la región Sudeste. Nacieron allí el trabajo pionero de

planificación integrada de nuestro sector eléctrico y el primer levantamiento detallado del potencial hidroeléctrico brasileño, con un estudio de todos los ríos regionales, de la cabecera a la desembocadura.

En 1964, un decreto estableció que Eletrobras sería responsable de acompañar la ejecución de los proyectos propuestos. En 1967, con la aprobación del informe final, la misión de Eletrobras fue expandida para las regiones Norte y Nordeste, lo que demandó la creación de otras dos subsidiarias regionales

El estudio reveló que teníamos una geografía muy favorable para la explotación de potenciales hidráulicos. Pero el entrelazamiento de nuestro sistema eléctrico, en forma de sistema integrado, todavía estaba por ser imaginado. Para comprenderlo, precisamos mirar nuestra geografía.

## El territorio brasileño

Las coordenadas geográficas son una forma de representación cartográfica formada por líneas imaginarias – latitudes y longitudes – y usada para representar y localizar cualquier punto de la superficie terrestre. La latitud (o “paralelo”) es la distancia, en grados, de cualquier punto en relación a la línea del Ecuador.

Considerando territorios contiguos, Brasil abarca 39 grados, desde 5°16’ de latitud en el punto más al norte (Parque Nacional de Monte Roraima) hasta 33°44’ en el extremo sur, en la frontera con Uruguay. Rusia viene el segundo lugar, con una diferencia de 36,5°: el punto más septentrional está en 77°43’ y el más meridional en 41°11’. Chile viene en tercero, con 36,4°, de 17°30’ a 53°53’.

Tenemos cuatro tipos de clima: ecuatorial húmedo en el Norte, tropical en el Sudeste y en el Centro-Oeste, tropical semiárido en el Nordeste y subtropical húmedo en el Sur. Además, poseemos gran cantidad de recursos renovables, entre los cuales se destacan cerca de 8.233 kilómetros cúbicos de agua dulce, 12% de la cantidad disponible del mundo. La Amazonia brasileña guarda más del 70% de ese total.

Muchos ríos recorren grandes extensiones antes de desaguar en el mar: el Paraná tiene 3.942km; el São Francisco, 2.800km; el Madeira, 3.315km; el Tocantins, 2.700km. Son “ríos de altiplano”. En ellos, los declives donde pueden localizarse las usinas están entre dos superficies razonablemente planas. Al represarse un río

de ese tipo se forman grandes embalses.

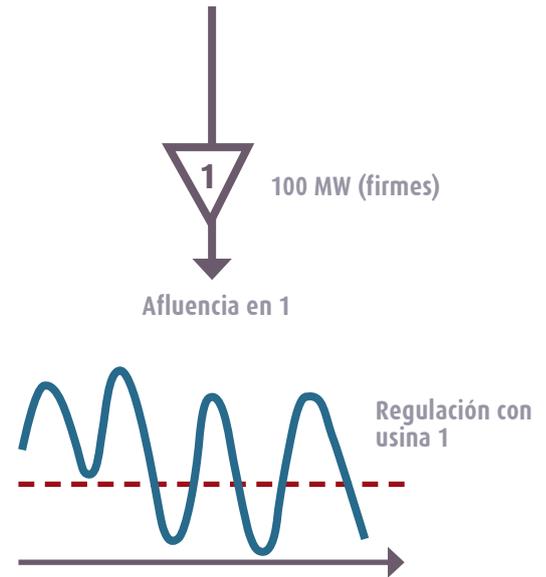
Es antigua la idea de implantar un sector eléctrico basado en centrales hidráulicas. La necesidad de industrializar el país la impulsó. Grandes represas causan impactos en las respectivas regiones, pero ellas no surgieron por megalomanía o por la obsesión por obras “faraónicas”, como muchas veces se dice. Eso es consecuencia de la geografía brasileña.

Nuestro extenso territorio, dotado de esas características, proporciona grandes ventajas, que, en cierto momento, supimos explotar. Brasil comprendió sus singularidades geográficas y construyó un sistema hidroeléctrico con características propias, dotado de eficiencia inigualable.

La mejor manera de entender eso es imaginar al sector surgiendo de cero. Suponga un río donde un inversionista construya la central 1, con 100MW garantizados (repare que 100MW no son la potencia de la central, sino la cantidad de energía que ella puede suministrar continuamente). La Figura 1 muestra que la afluencia es muy variable. Gracias al embalse, sin embargo, la central consigue regularizar esas variaciones y garantizar una energía equivalente a la línea trazada. Al acumular agua, se garantiza energía firme. Parte de las afluencias mayores se pierde, pues el embalse no tiene capacidad para almacenarla hasta la próxima sequía.

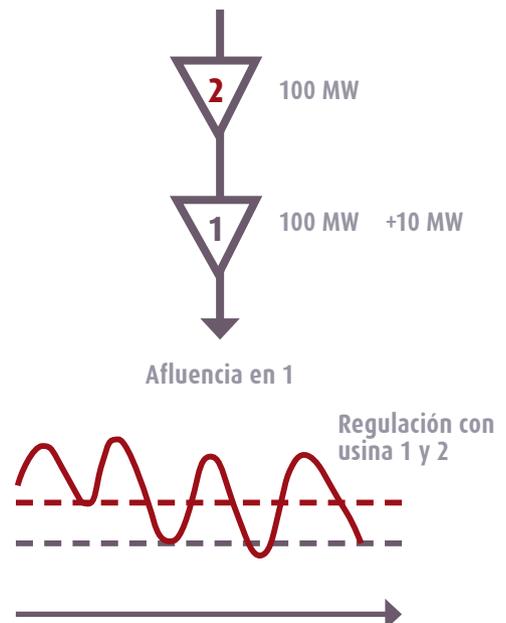
Vamos a suponer que, en un segundo momento, otro inversionista construye otra usina, río arriba, con la misma capacidad. Como la usina 2 también tiene embalse,

Figura 1 | Situación en una usina aislada

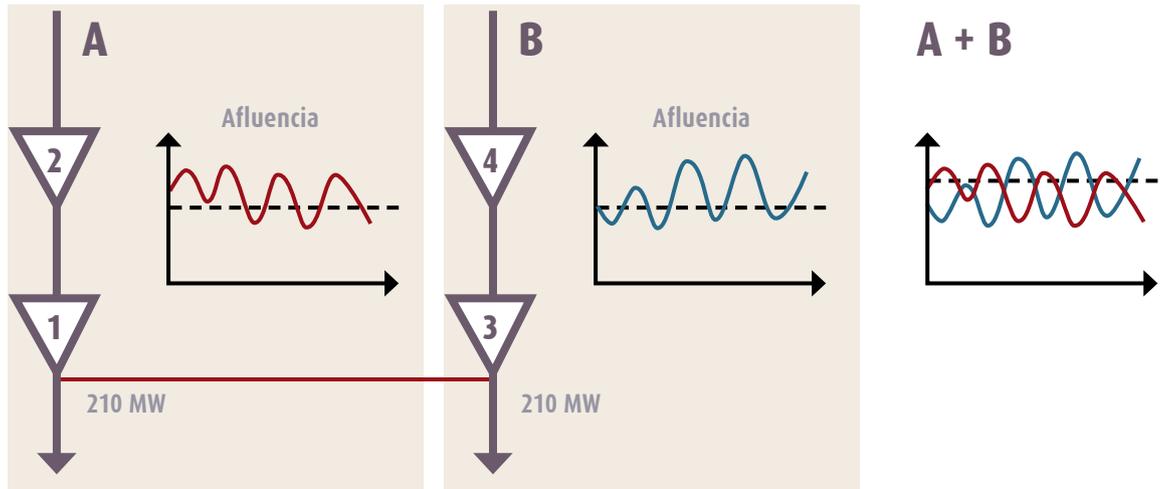


LAS AFLUENCIAS OSCILAN (CURVA CONTINUA), PERO LA EXISTENCIA DE UN EMBALSE PERMITE QUE LA USINA PUEDA GARANTIZAR UNA ENERGÍA FIRME (LÍNEA EN TRAZOS).

Figura 2 | Situación con dos usinas en secuencia



LA EXISTENCIA DE UNA SEGUNDA USINA EN LA CORRIENTE DE LA PRIMERA, AMBAS CON EMBALSES, PERMITE REGULAR MÁS EL FLUJO DEL RÍO Y AUMENTAR LA ENERGÍA FIRME DE LA USINA 1, SIN LA INSTALACIÓN DE NINGUNA NUEVA TURBINA.

**Figura 3 | Papel de una línea de transmisión**

UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN QUE CONECTE USINAS SITUADAS EN DOS RÍOS DIFERENTES TAMBIÉN AUMENTA LA ENERGÍA FIRME DISPONIBLE PARA EL SISTEMA.

ella regulariza aún más el flujo del río, de modo que la afluencia percibida por la usina 1 se hace más estable: las sequías no son tan profundas (curva oscilante en la Figura 2). Así, la energía firme de la usina 1 aumenta. Ahora, ella produce 110MW firmes, sin haber aumentado su capacidad, o sea, sin nuevas turbinas. Es la gestión del agua la que posibilita eso.

Surge, entonces, una duda: ¿quién es el propietario de esos 10MW firmes que surgen sin que ningún nuevo equipamiento haya sido adicionado? Puede ser la usina 1, pues quien genera esa capacidad son sus máquinas. También puede ser la usina 2, pues fue ella la que alteró el comportamiento de la afluencia percibida en la usina 1. Pueden ser las dos, mas ¿en qué proporción? ¿Qué criterio se debe adoptar?

No hay respuesta razonable a este problema, pues es imposible separar las funciones de manera

clara y sin controversia. Y, como la hidrología varía a lo largo del tiempo, ese efecto también varía. Tanto el embalse 2 como la usina 1 son importantes para garantizar la energía que será generada.

Hasta aquí no hay grandes diferencias en relación a sistemas eléctricos instalados en otros países, a no ser por la combinación de las variaciones de afluencias (mayores en regiones tropicales) y por los embalses. Pero el juego no acabó. Así como ocurrió en el primer río (A), algo parecido ocurre en otro (B). Allí, las usinas 3 y 4, iguales a las 1 y 2, percibieron el mismo efecto y se asociaron para explotar 210MW.

Entonces, otro inversionista, analizando los datos, resuelve construir una línea de transmisión que una los dos sistemas (A y B). El río B tiene una hidrología diferente a la del río A. Cuando A tiene afluencias más bajas, B tiene afluencias más altas. Ahora, sor-

prendentemente, como muestra la Figura 3, en vez de mantenerse fija la suma de las energías firmes anteriores, aparecen 20MW firmes más!

Esa diversidad de hidrologías es típica de países con gran latitud. Ella confiere a nuestras líneas de transmisión una función inédita entre los sistemas eléctricos de todo el mundo, pues el mercado pasa a ser atendido simultáneamente por gran número de usinas, localizadas por el territorio nacional.

Al posibilitar despachos en gran escala entre las regiones, el sistema de transmisión pasa a comportarse como un “embalse ambulante”, pues es capaz de “relocalizar” la reserva de agua, evitando vertimientos inútiles. Correctamente dimensionadas, las líneas también son capaces de vaciar determinados embalses, estratégicamente escogidos, programando sus volúmenes de espera y transformando mayor cantidad de



CREATIVE COMMONS

lluvia futura en kWh. Cuanto mayor sea la capilaridad del sistema de transmisión, mayor será la probabilidad de que las afluencias en todo el sistema (ahora, A+B+T) sean transformadas en kWh en algún momento.

El juego aún no acabó. Imagine que otro inversionista resuelva construir una usina térmica conectada al sistema A+B+T. Con esa nueva usina, todo el sistema gana aún más energía firme, aunque la nueva usina no genere ningún MWh! Pues, aunque desconectada, ella funciona como un seguro, permitiendo que los embalses sean operados de manera más efectiva.

Por precaución, A+B no pueden reducir mucho el volumen de sus embalses. Sin embargo, en los períodos lluviosos se pierde agua, pues es necesario dejarla escurrir sin generar energía, por falta de espacio para almacenarla. Con

la disponibilidad de la térmica, que puede ser accionada en caso de necesidad, el sistema A+B+T puede resolver más, vertiendo más agua en el presente y abriendo más espacio en los embalses para una cantidad de lluvia que, antes, no podía ser guardada.

Este efecto ocurre en cualquier sistema de base hídrica, pero no en las proporciones brasileñas. La energía garantizada de nuestro sistema, visto como un todo, es 20% mayor que la suma de las energías garantizadas de las usinas, vistas aisladamente. O sea, el complejo de líneas que interconectan el sistema “ofrece” 20% extras a la garantía total. Hoy, eso significa prácticamente la energía de Itaipú, la mayor usina del Hemisferio Americano.

Ese ejercicio imaginario muestra que si el sistema brasileño hubiera sido desarrollado a partir de iniciativas individua-

les, los agentes percibirían rápidamente la necesidad de asociarse. Dada la singularidad de nuestra geografía, esa asociación incluye necesariamente las usinas (térmicas e hidráulicas) y las líneas. Estamos ante un monopolio natural. Para ser eficiente, el sistema debe ser planificado y manejado como una sola empresa.

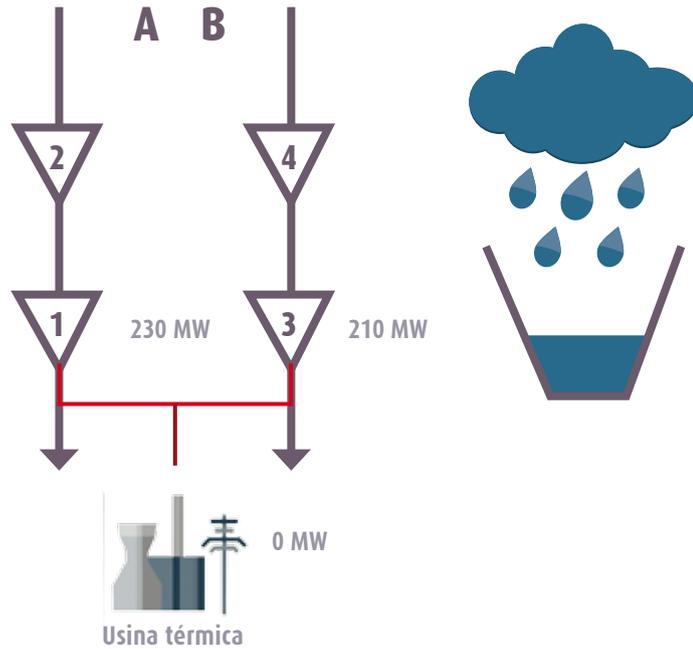
## La conectividad del sistema eléctrico

Las Figuras 5 y 6 muestran el desarrollo de la conectividad eléctrica brasileña, teniendo como referencia 1970 y 2017.

Para tener una idea del tamaño de nuestro sistema de transmisión, basta diseñarlo sobre el mapa de Europa, como aparece en la Figura 7: las líneas unen Portugal hasta Suecia y casi hasta Moscú.

En Brasil, no se decide apenas donde se debe generar, sino también cuándo se debe generar. Cada gota de agua mantenida en reserva contiene un desafío: ¿cuándo debemos usarla? Ese dilema no existe en sistemas de base térmica.

Figura 4 | Integración de una usina térmica en un sistema hídrico



LA EXISTENCIA DE UNA USINA TÉRMICA, AUNQUE DESCONECTADA, AUMENTA LA ENERGÍA OFERTADA POR EL SISTEMA, PUES PERMITE UN MANEJO MÁS OPTIMIZADO DE LOS EMBALSES DE LAS USINAS HIDRÁULICAS.

Figura 5 | El sistema de transmisión en la década de 1970



Figura 6 | El sistema de transmisión en 2017

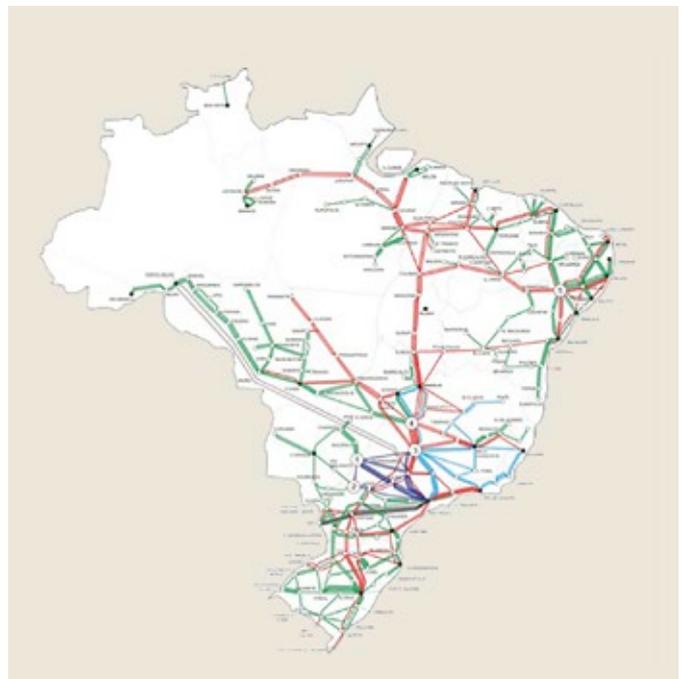
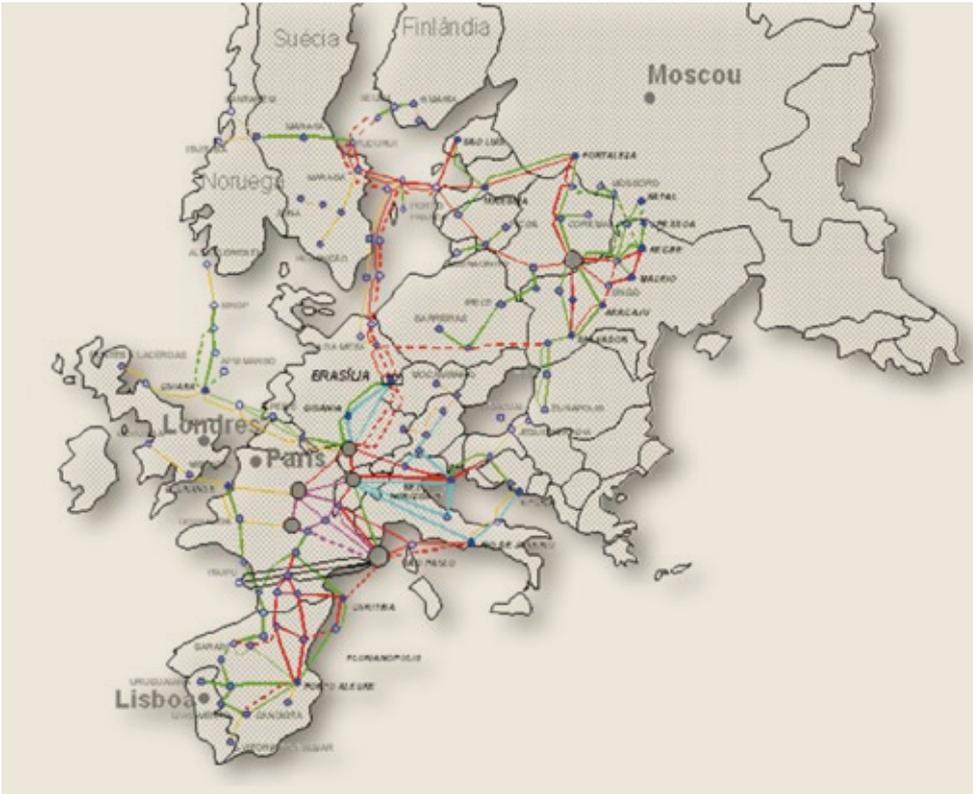


Figura 7 | Sistema brasileño de transmisión aplicado sobre el mapa de Europa



¿Cómo se justifica un sistema único que cubre un territorio equivalente al de Europa? ¿El sistema brasileño de transmisión puede considerarse exagerado?

La Figura 8 representa la cantidad de energía intercambiada entre las regiones Sudeste y Sur. Los valores positivos representan la energía enviada por las usinas de la región Sudeste para el Sur, y los valores negativos representan el intercambio en sentido contrario. Como se ve, es común que ese intercambio ultrapase 2.000MW medios.

Veamos lo que eso significa. La usina de Itumbiara, localizada en el Río Paranaíba, con 2.082MW instalados, tiene una energía firme de aproximadamente 1.000MW

medios. Intercambiar 2.000MW medios equivale a “transportar” dos usinas como Itumbiara a través de las líneas. Para enfatizar esa singular situación del sistema brasileño, basta recordar que, en algunos meses, más de 50% del consumo de la región Sur es atendido por usinas del Sudeste.

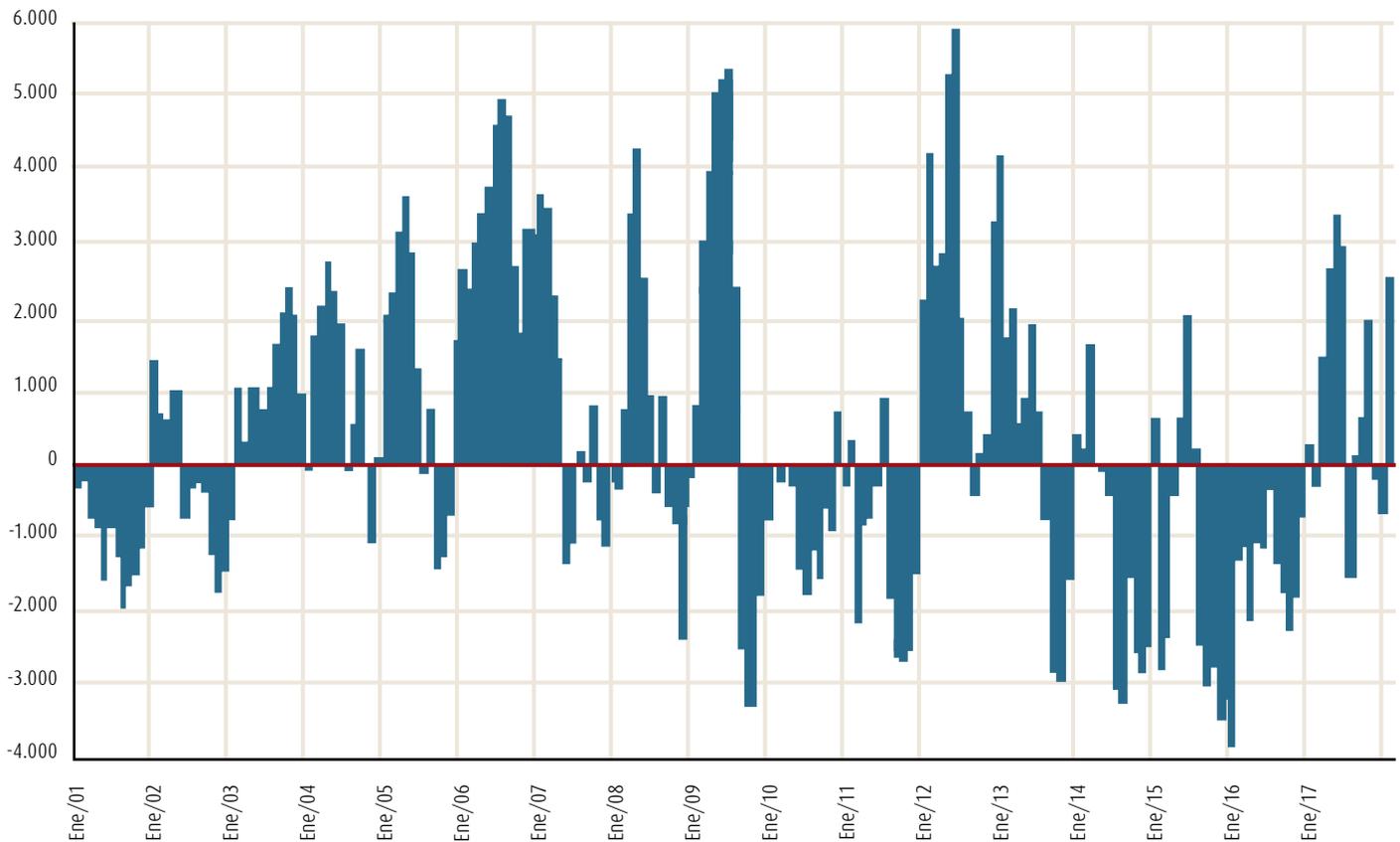
Existe gran variación en la generación de cada usina, que depende tanto de la hidrología regional como de la lógica inter-regional del sistema interconectado. Por eso, el sistema brasileño sólo puede ser correctamente manejado a partir de una visión de conjunto. Ella estaba a cargo de los comités de operación y planificación, coordinados por Eletrobras. Siempre hubo diversas empresas distribuidoras y

generadoras, pero la planificación de la operación y de la expansión era debatido profundamente en esos comités, con las decisiones siendo sometidas a críticas y aprobaciones. Ellas no dependían solamente de la diversidad hidrológica resultado de la geografía.

Como vimos, nuestros ríos de altiplano propiciaron la construcción de grandes embalses. Cuando llenos, ellos podían almacenar energía equivalente a casi dos años de consumo. Con el crecimiento de la carga y la imposibilidad de adicionar nuevos embalses en el ritmo del crecimiento de la demanda, el período cubierto por la reserva disminuyó con el tiempo, alcanzando hoy cerca de cinco meses, todavía un récord mundial. (Esa relación no considera ninguna otra fuente. Por ejemplo, si fuera posible definir una fuente alternativa a la hidroelectricidad que tenga costos razonables y se responsabilice por 25% de la carga, la reserva comparada con el consumo “líquido”, descontada la fuente no hidráulica, sube para siete meses.)

Como se sabe, está en curso una reducción significativa de los costos de nuevas fuentes sostenibles, principalmente la solar y la eólica. En este nuevo contexto, el diferencial del sistema brasileño aún podrá ser el tamaño de su reserva de energía.

Esa característica trae otra singularidad operacional: en Brasil, no se decide apenas dónde se debe generar, sino también cuándo se debe generar. Cada gota de agua mantenida en reserva contiene un desafío: ¿cuándo debemos usarla? Ese dilema no existe en sistemas de base térmica.

**Figura 8 | Intercambio de energía entre las regiones Sudeste y Sur**

## La tentativa de fragmentar el sistema

En la década de 1990, se decidió implantar un modelo basado en la competencia, y no en la cooperación, fragmentando algo que siempre fuera tratado de forma global. Eso exigió alto grado de mimetismo con sistemas de base térmica. Con un sistema eléctrico marcado por características únicas, Brasil decidió ignorar sus especificidades e implantar un modelo competitivo por energía y por usina. Fue un proceso muy problemático.

La insistencia en el error y la ausencia de revisiones estructurales, siempre bajo presión de intereses comerciales, transformaron en víctimas tanto a los consumidores como a Eletrobras, usada para intentar “concertar” los defectos del nuevo modelo, que aparecían en secuencia.

Desde el inicio del proceso, los técnicos del sector sabían que sería prácticamente imposible implantar un sistema en el que las usinas compiten entre sí a partir de la energía generada por cada una. Como la estrategia óptima de generación depende de una vi-

sión de conjunto, decisiones individuales provocarían conflictos e ineficiencias. ¿Cómo una usina hidroeléctrica puede compatibilizar la necesidad de generar energía y la obligación de guardar agua? La primera depende del mercado, tal como la usina lo ve, mientras la segunda depende de la óptica monopolista del Operador Nacional, que analiza el sistema como un todo. En el caso brasileño, ni siquiera usinas en el mismo río pertenecen a una misma empresa. Los conflictos podrían ocurrir ya en la primera etapa, que mostramos en la Figura 2.

Para intentar resolver esos conflictos, se implantó una metodología compleja y subjetiva, con la emisión de un certificado que, teóricamente, representa la contribución de cada usina a la capacidad total. A partir de él, cada una recibe permiso para comercializar su energía. El sistema es puramente financiero y virtual. Depende de aciertos contables subjetivos. La complejidad es de tal orden que inviabilizaría un texto analítico. Listaremos tres grandes diferencias con sistemas energéticos realmente competitivos:

1. En sistemas de base térmica, la suma de las capacidades individuales define la capacidad total. En el singular sistema brasileño ocurre lo contrario: se define primero el total y después se establece la parcela asociada a cada usina.
2. Como la proporción de hidráulicas es significativa y tenemos una hidrología tropical, hay una incertidumbre estadística cuando se busca un único valor en la emisión del certificado.
3. Ante la existencia de grandes embalses y la incertidumbre sobre las afluencias futuras, las trayectorias estimadas de la reserva admiten la posibilidad de ocurrir déficit de energía. Fue necesario, por tanto, estimar un parámetro subjetivo, el costo de ese déficit para todo el país. Él pasó a influir los valores de corto plazo, pues varía para cada nivel de la reserva: cuanto más bajos los embalses, mayor la influencia del costo del déficit.

Esa es una muestra de la inmensa lista de diferencias en relación a sistemas en los cuales la producción de energía genera competencia real.

Contra todas las evidencias, el país adoptó la individualización de la energía de las usinas. Independientemente del origen de su energía primaria (hidro, térmica, eólica o solar), a cada usina fue asociado un certificado emitido por un modelo matemático que calcula una “garantía física”, la supuesta contribución de cada una para la oferta de energía total. Ese valor pasó a definir las subastas en la mayoría de los proyectos. La metodología de cálculo, extremadamente compleja, exhibe grandes vulnerabilidades.

Como el período de concesión de las usinas es de treinta años, las que ya existían cuando el modelo fue implantado recibieron el certificado de garantía física en una época en que los embalses proporcionaban mayor confort, pues la demanda de energía era aproximadamente la mitad de la actual y la estrategia de operación era otra. De allá para acá, los parámetros que definen la división de la garantía total por cada usina fueron alterados. Entre tanto, como hay intereses comerciales fijados en contratos, el valor no puede ser alterado.

La evidente inconsistencia entre certificados de garantía física emitidos con décadas de diferencia generó una supervaloración de la capacidad total, pues los certificados nunca fueron revisados. Eso acarreó costos para el consumidor, pues el optimismo de la “garantía” tiene que ser compen-

sado con la construcción de otras usinas. La solución encontrada fue promover subastas de “energía de reserva” pagada a través de encargos. Pero, ¿cómo algo denominado “garantía física” necesita de energía de reserva? En realidad, la “energía de reserva” intenta corregir la supervaloración, que impone un riesgo mayor del admitido en los planes. De 2008 hasta 2017, ese sobre-costos alcanzó R\$ 150 billones.

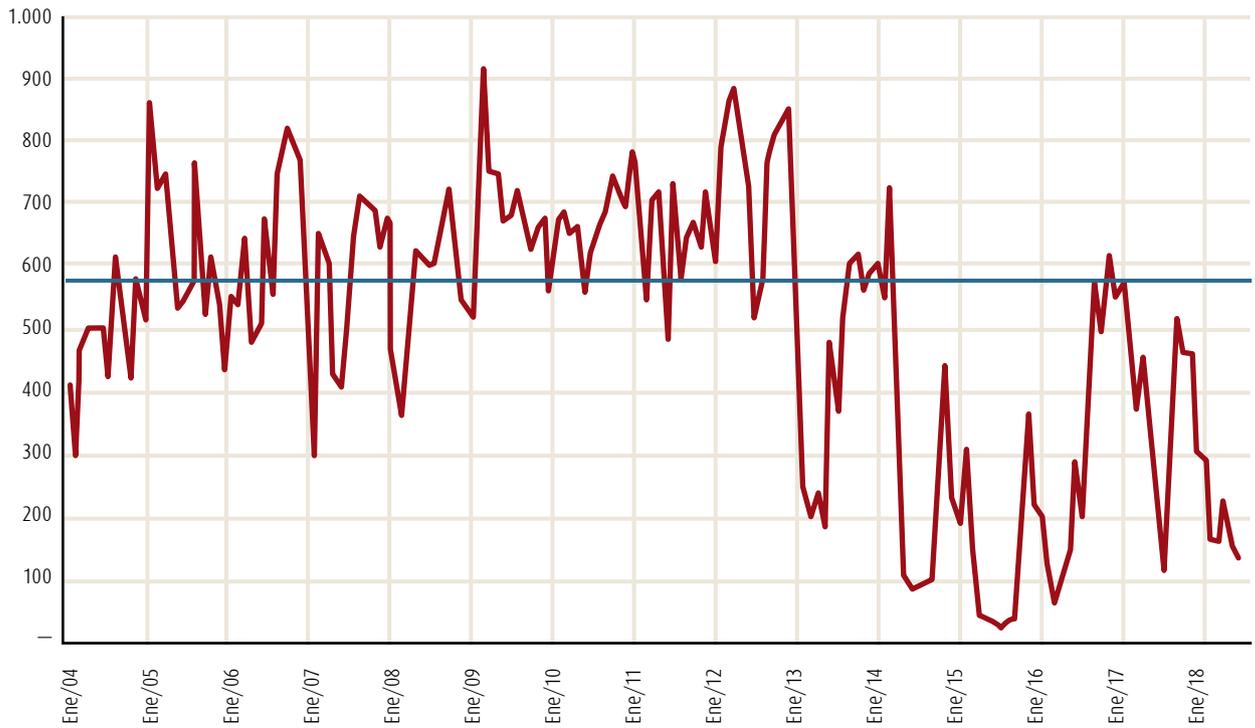
Veamos dos ejemplos de certificados de “garantía física”, comparados con la generación real en los últimos catorce años.

La usina de Furnas, inaugurada en 1963 en el río Grande (MG), tiene una potencia de 1.216MW. La Figura 9 muestra la generación mensual de la usina en MW medios (MW medio es la energía media en una unidad cualquiera de tiempo; en el caso del dato mensual, cada MW medio equivale a 730 MWh, pues, en media, cada mes tiene, en media, 730 horas). En el modelo mercantil brasileño, la grandeza fija denominada “garantía física”, asociada a Furnas, es de 583MW medios. En años pasados ella generó muy por encima de eso y en años recientes ha generado muy por debajo.

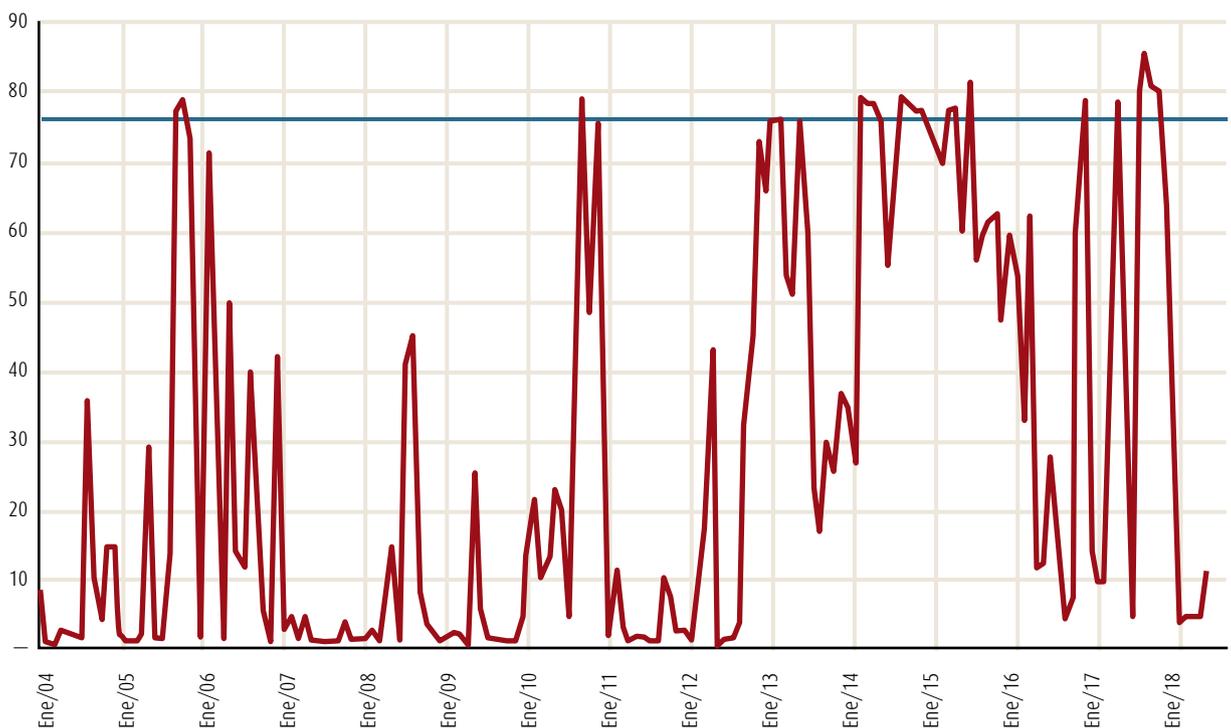
En contraste con la usina de Furnas, la Figura 10 se refiere a la usina térmica de gas instalada en Juiz de Fora (MG). La garantía física de esa térmica fue valorada en 78MW medios, pero raramente ella generó algo próximo a ese valor.

Como se ve, la garantía física de una usina puede tener poca relación con su generación real. La garantía está contabilizada como oferta de energía, pero, en verdad,

**Figura 9 |** Generación (línea oscilante) y garantía física (línea recta) de la usina de Furnas



**Figura 10 |** Generación (línea oscilante) y garantía física (línea recta) de la usina de Juiz de Fora



**Es imposible implantar un modelo en el que las centrales compitan entre sí a partir de la energía generada por cada una. La estrategia óptima depende de una visión de conjunto.**

quien genera son las usinas más baratas, notoriamente las hidráulicas.

Ese es un aspecto muy importante y poco entendido. En el sistema brasileño, si la oferta se expande con térmicas caras, eso significa que parte de la reserva hídrica será usada para substituir esa generación. Al contrario de lo que se piensa, algunas térmicas ayudan a agotar los embalses, dependiendo del costo de operación.

La Figura 11 muestra lo que ocurre cuando se considera la generación y la garantía física del conjunto de las usinas térmicas del sistema (MW medios).

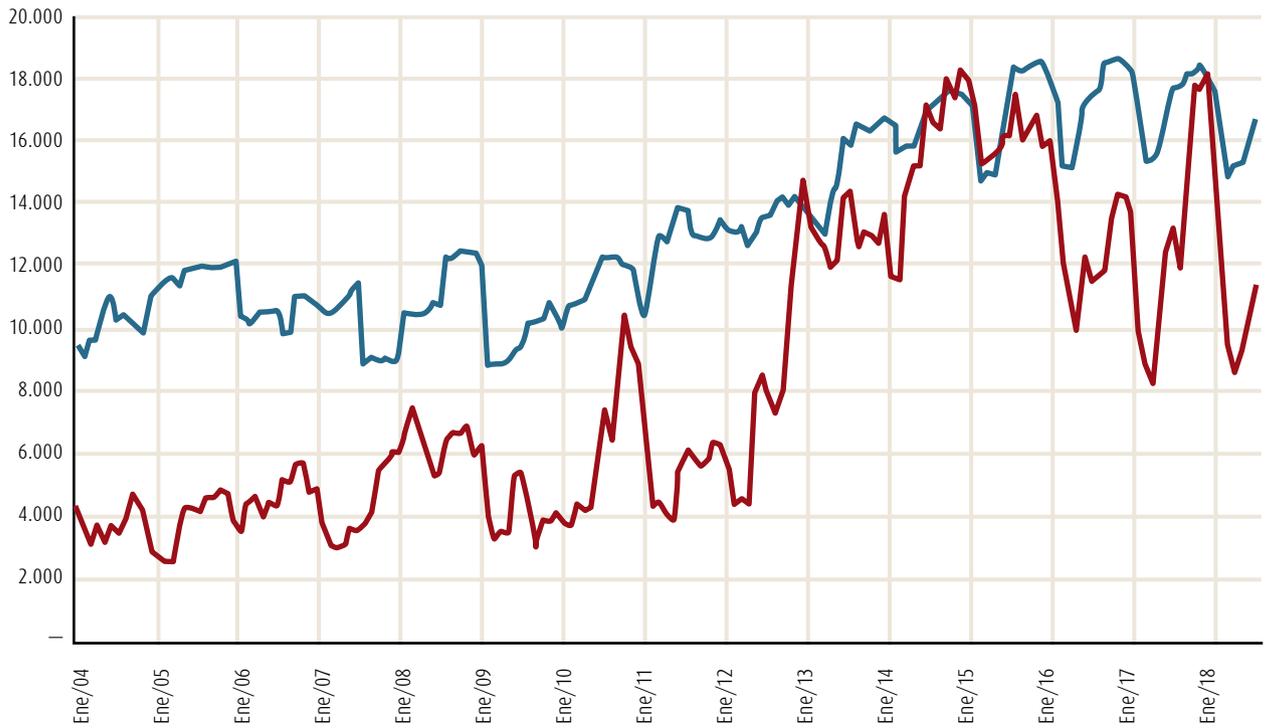
Toda el área entre la curva azul (garantía física) y la roja (generación real) es oferta de energía con garantía especificada en el sistema. Si las térmicas no

generaran esa energía, sólo hay dos posibilidades: o esa energía es un “sobran-te” o las hidráulicas generaron en su lugar. Como ejemplo de esa sustitución, el intercambio de energía entre térmicas e hidráulicas, de 2004 a septiembre de 2012, fue equivalente a 470 TWh, cerca de 80% de la energía consumida en el sistema en un año.

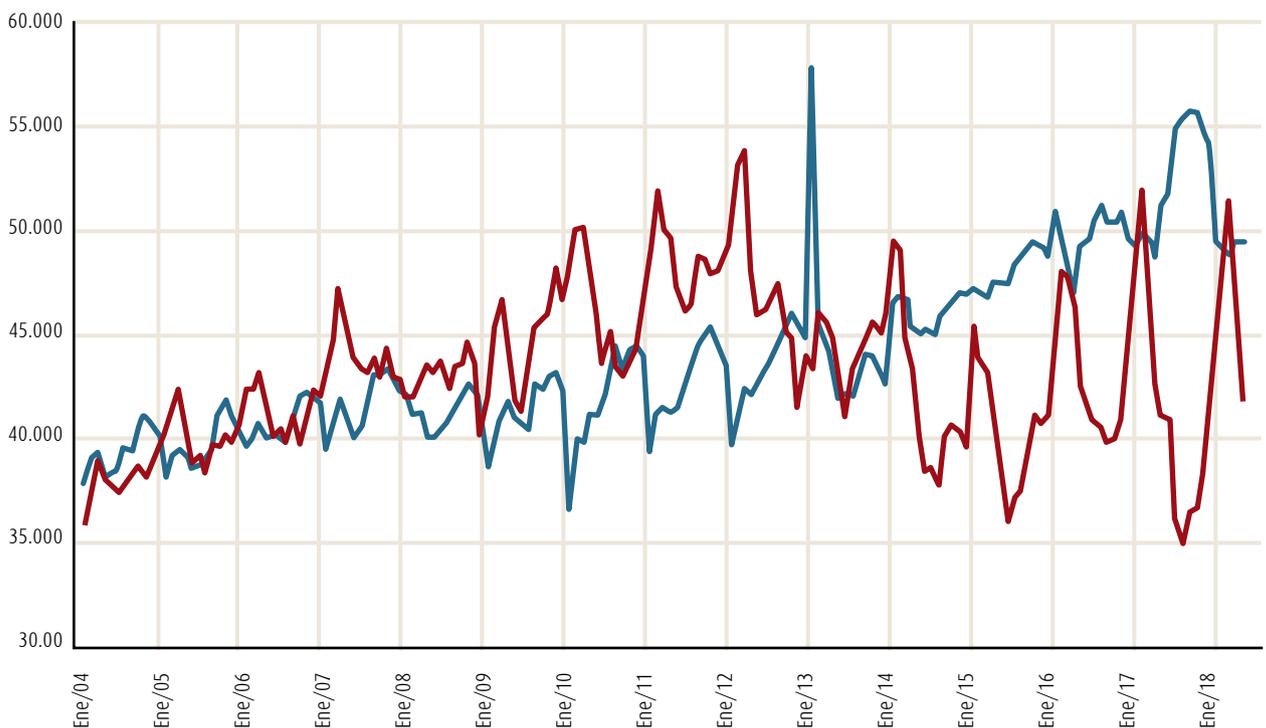
El otro lado de esa excentricidad puede ser visto cuando examinamos los mismos datos, pero para todas las hidráulicas (Figura 12). Aquí se observa lo inverso. Hasta septiembre de 2012, en la mayor parte del tiempo, las hidráulicas generaron por encima de su garantía física. Como ellas tienen costos mucho menores que las térmicas, algunas cuestiones quedan en el aire:



**Figura 11 |** Generación verificada (en rojo) y garantía física asociada a todas las térmicas del sistema (en azul)



**Figura 12 |** Generación (en rojo) y garantía física asociada a todas las hidráulicas del sistema (en azul)



1. Si las hidráulicas generan por encima de su garantía física y con costos menores, ¿quién se apropia de las ganancias?
2. En los últimos cuatro años, invirtiendo la situación anterior, las hidráulicas presentan un gran déficit de generación, cuando usamos la garantía física como referencia. ¿Qué tipo de compensación existió entre esos dos eventos opuestos?
3. ¿Por qué ese cambio de hidráulicas superavitarias para deficitarias coincide con la edición de la medida provisional del gobierno de Dilma que intervino en las tarifas (septiembre de 2012)?

Para entender lo que ocurrió es necesario comprender los mercados brasileños.

Los dos mercados de energía brasileños

En Inglaterra, el proceso de liberación y privatización exigió quince años de estudios y debates. Brasil, con un territorio mucho mayor y un sistema mucho más complejo, hizo todo en cinco años.

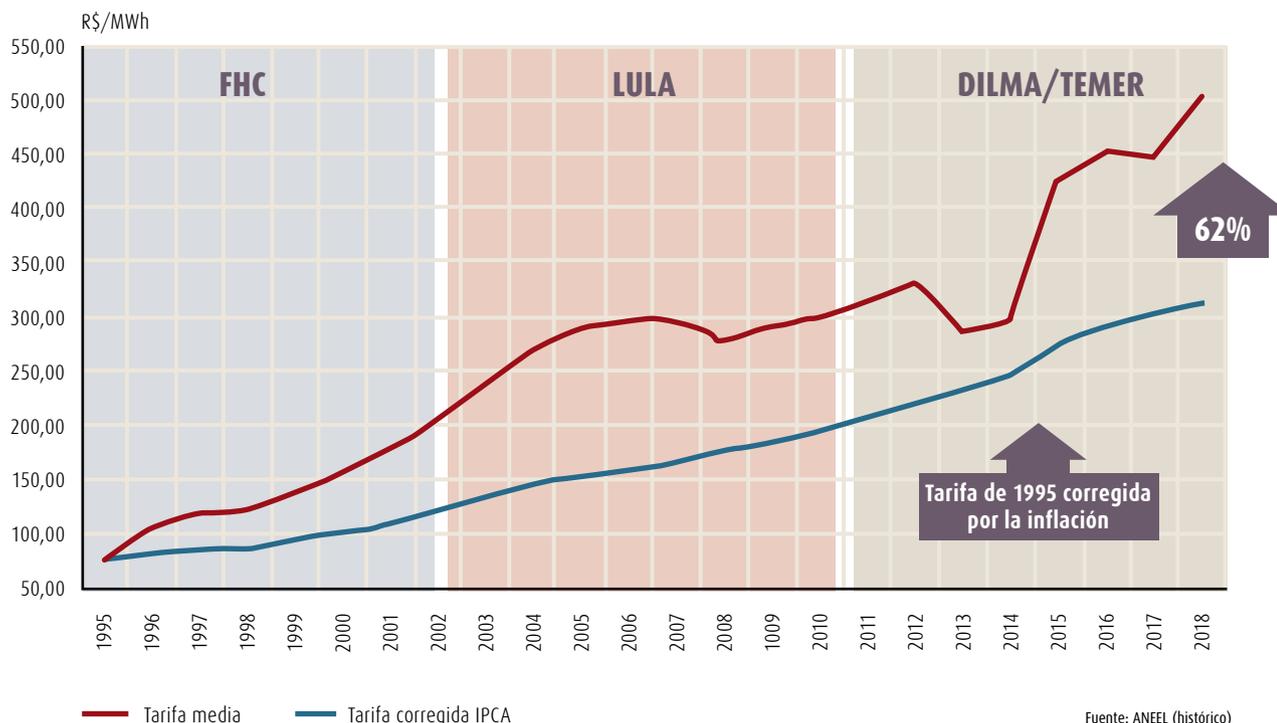
Los sectores eléctricos de Brasil y de Inglaterra son muy diferentes. Aún así, el gobierno brasileño contrató la consultoría de la empresa inglesa Coopers & Lybrand, que nos trajo las recetas genéricas en boga en la década de 1990, aplicables a cualquier sistema, independientemente de sus características físicas. Fue una especie de *one size fits all* en el mundo comercial. Está claro que la adopción de un modelo compe-

titivo exigió una considerable adaptación, que los analistas y la sociedad desconocen.

La privatización fue interrumpida por el racionamiento de 2001, una tragedia anunciada en un país que había parado de invertir en la expansión y pasado a vender usinas listas. Para frenar las inversiones de Eletrobras, que sería privatizada, dejaron de construirse hasta líneas de transmisión, cuya necesidad era obvia. ¿Por qué empresas privadas tendrían interés en invertir en nuevas usinas si estaban a la venta activos listos, que generaban facturación inmediata?

Otra secuela fueron las distribuidoras rechazadas por el mercado. Eletrobras tuvo que absorberlas, asumiendo un área que nunca fue su especialidad.

**Figura 13 | Evolución de la tarifa media residencial comparada con la inflación (¡Excluyendo impuestos!)**



Fuente: ANEEL (histórico)

A partir del marco cero en 1995, Brasil implantó un sistema de mercado libre y otro de contratación regulada. Las relaciones comerciales se establecen en el ambiente de contratación regulada (ACR, donde actúan las distribuidoras) y en el ambiente de contratación libre (ACL, donde están, básicamente, los grandes consumidores). En el mercado de corto plazo son contabilizadas y liquidadas las diferencias entre los montantes generados, contratados y consumidos. Como vimos en los ejemplos de las usinas de Furnas y de Juiz de Fora, esas diferencias pueden ser significativas. Llega a ser chocante contemplar las disparidades de precios que fueron registradas en los dos ambientes. Las Figuras 13 y 14 muestran la evolución de las tarifas me-

días residenciales e industriales de las distribuidoras en tres gobiernos.

En las residencias, como hay muchos consumidores de baja renta, la trayectoria de quien no recibe subsidios puede ser mucho peor. En las industrias, generalmente de pequeño porte, la elevación de precios es impresionante.

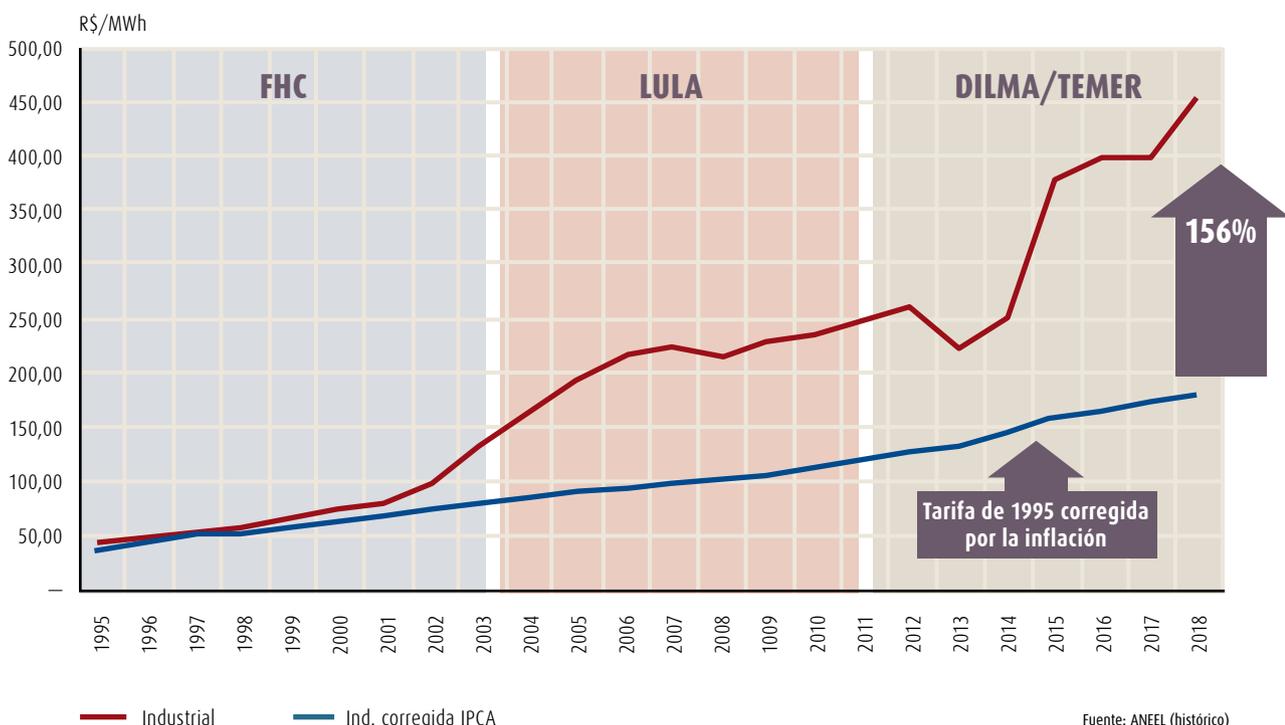
Considerando todos los encargos, la transmisión, la distribución y los impuestos, el valor del MWh residencial alcanzó R\$ 1.000,00, por lo menos el doble de los precios practicados en países con configuraciones semejantes a la nuestra, como Canadá y Noruega.

No es posible obtener los precios medios de los ambientes de contratación libre. Lo que se consigue reunir es el precio de liquidación de diferencias (PLD), que,

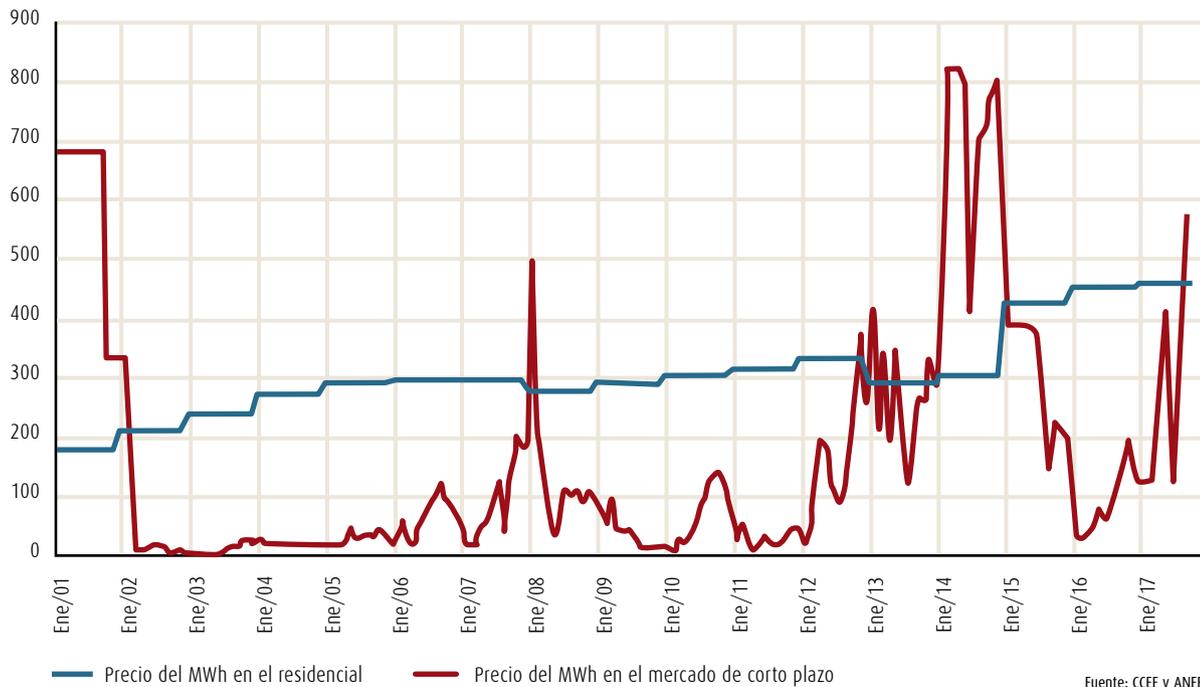
en el caso brasileño, también es singular. Él no refleja una interacción de compradores y vendedores, como en mercados semejantes. El PLD nada más es del costo marginal de operación (CMO), un parámetro calculado por el Operador del Sistema, que desconoce completamente las relaciones comerciales. En realidad, es un cálculo económico del valor del MWh reservado en cada momento, teniendo como referencia un escenario futuro de evolución de las afluencias, de la carga y hasta de la expansión del sistema. Refleja, por tanto, una óptica global de control de reserva, desde un punto de vista monopolista (Figura 15).

Cualquier comparación del mercado brasileño de corto plazo con otros mercados de energía

**Figura 14 | Evolución de la tarifa media industrial comparada con la inflación (¡Excluyendo impuestos!)**



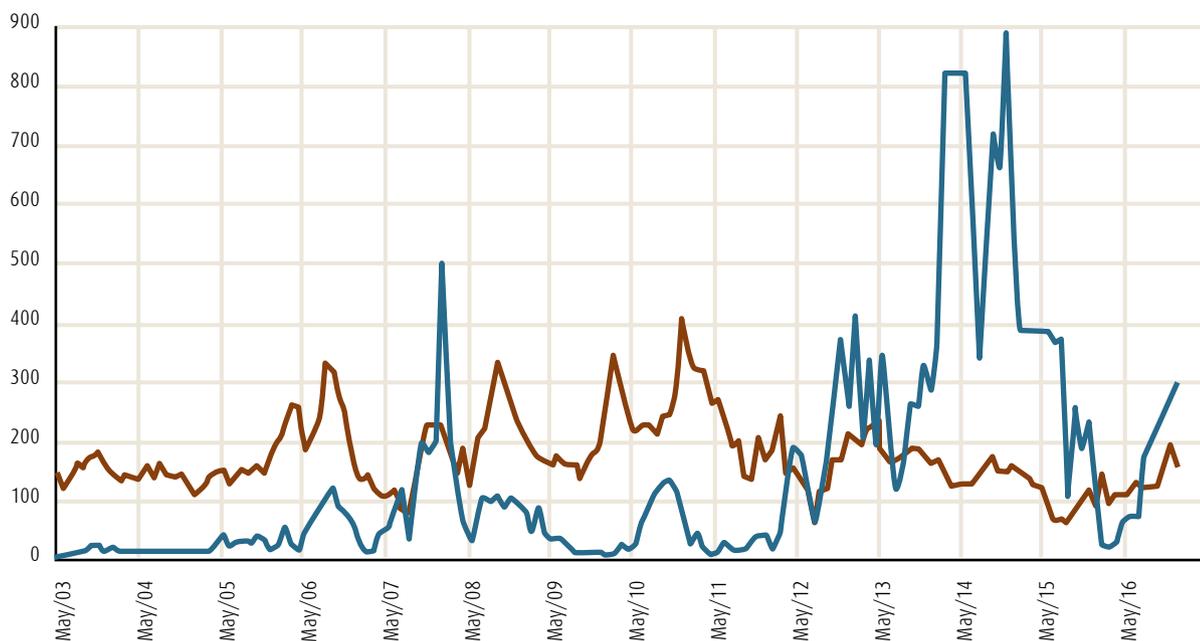
**Figura 15 | Precio de corto plazo (PLD) comparado al precio del MWh en el sector residencial**



Fuente: CCEE y ANEEL

ES IMPORTANTE NOTAR QUE EL PRECIO DEL MWh RESIDENCIAL(LÍNEA AZUL) LLEGÓ A SER CUARENTA VECES MÁS CARO QUE EL PLD.

**Figura 16 | Comparación entre el mercado de corto plazo brasileño (PLD, azul) y el Nordpool (rojo). Valores en R\$/MWh**



muestra algo bizarro. Como consecuencia de la configuración del sistema y de la geografía singular, el caso brasileño tiende a generar precios irrisorios. Podemos ver esto en la Figura 16, que muestra en el mismo gráfico la comparación de los precios en Brasil y en el mercado Nordpool (Suecia, Noruega, Dinamarca y Finlandia), que también negocia energía hidroeléctrica.

Esa situación puede ser fruto de un sobrante estructural o de hidrologías muy favorables. Al ser apropiada exclusivamente en el mercado libre, ella produce comportamientos especulativos. Un mercado sin transparencia se apropia de los sobrantes y de las hidrologías exuberantes. Los “contratos” mensuales comercializados en el ambiente de contratación libre ultrapasan, en algunos años, 25% del total de la energía. Ocurre un peligroso incentivo a la no-con-

tratación de largo plazo, lo que trae consecuencias desastrosas para el equilibrio del sistema.

El otro aspecto de gran importancia, consecuencia de la adopción del modelo, fue la fragmentación de responsabilidades. Hoy tenemos las siguientes instituciones que cuidan del mismo problema:

1. Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), autarquía en régimen especial, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, creada para regular el sector eléctrico brasileño (Ley n° 9.427/1996 y Decreto n° 2.335/1997).
2. Operador Nacional del Sistema (ONS), órgano responsable por la coordinación y el control de la generación y transmisión de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y por la planificación

**La manera en que fueron emitidos los “certificados de garantía física” ha generado una valoración irrealista de la capacidad total del sistema. El riesgo es mayor del admitido en los planes. Eso impone sobrecostos de billones de reales a los consumidores.**



de la operación de los sistemas aislados del país. Actúa bajo fiscalización y regulación de la ANEEL. Instituido como persona jurídica de derecho privado, bajo la forma de asociación civil sin fines lucrativos, el ONS fue creado el 26 de agosto de 1998, por la Ley n° 9.648, con las alteraciones introducidas por la Ley n° 10.848/2004 y reglamentado por el Decreto n° 5.081/2004.

3. Cámara de Comercialización de Energía Eléctrica (CCEE), responsable por la contabilización y liquidación financiera en el mercado de corto plazo de energía. La institución realiza el cálculo y la divulgación del precio de liquidación de las diferencias (PLD), usado en las operaciones de compra y venta de energía.
4. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que presta servicios al Ministerio de Minas y Energía (MME) en el área de estudios y pesquisas para subsidiar la planificación del sector, cubriendo energía eléctrica, petróleo y gas natural y sus derivados, además de los biocombustibles.

Más allá de representar un costo extra, ha sido común encontrar criterios conflictivos entre esos órganos.

## La energía necesaria

Analizando los datos de los últimos años, que aparecen en la Figura 17, es posible extraer informaciones relevantes. En cada año, el país necesita de aproximadamente 2.200 MW medios para mantener el equilibrio. Eso significa, aproximadamente, una usina como Xingó, en el río São Francisco, o dos usinas como Itumbiara, en el río Paranaíba, o cuatro usinas como la Termo Pernambuco. Por otro lado, el consumo medio

residencial brasileño es bajo. Está en la franja de 150 kWh/mes. Muchas residencias de familias de baja renta consumen menos de 100 kWh/mes, equivalentes a un refrigerador, algunas lámparas y un ventilador. La necesidad de energía aumentará si el nivel de renta del pueblo brasileño aumenta. Hoy, no tenemos seguridad de que un aumento de la demanda – sea por el retorno del crecimiento económico, sea por el aumento de la renta de las familias – vaya a ser adecuadamente cubierto.

El singular y excéntrico modelo brasileño que surgió en la década de 2000 permitió extraños comportamientos. Las usinas generan energía (o no) independientemente de haber sido contratadas (o no) en el mercado, pues ellas son despachadas por el Operador Nacional a partir de una visión de conjunto del sistema. El operador desconoce contratos.

En 2003, a continuación del racionamiento y con la demanda reducida, las usinas de Eletrobras generaron energía sin contrato, siendo remuneradas por esos MWh por el precio de liquidación de diferencias (PLD). En ese período, el PLD varió de R\$ 4/MWh a R\$ 20/MWh. Al contrario de las otras empresas que perdieron contratos, Eletrobras fue prohibida de actuar en el mercado libre para atenuar el perjuicio. Fue usada para fomentar el ambiente de contratación libre. Los precios irrisorios practicados en el mercado de corto plazo en 2003 tienen origen en la desconexión de las usinas existentes, la mayoría de Eletrobras.

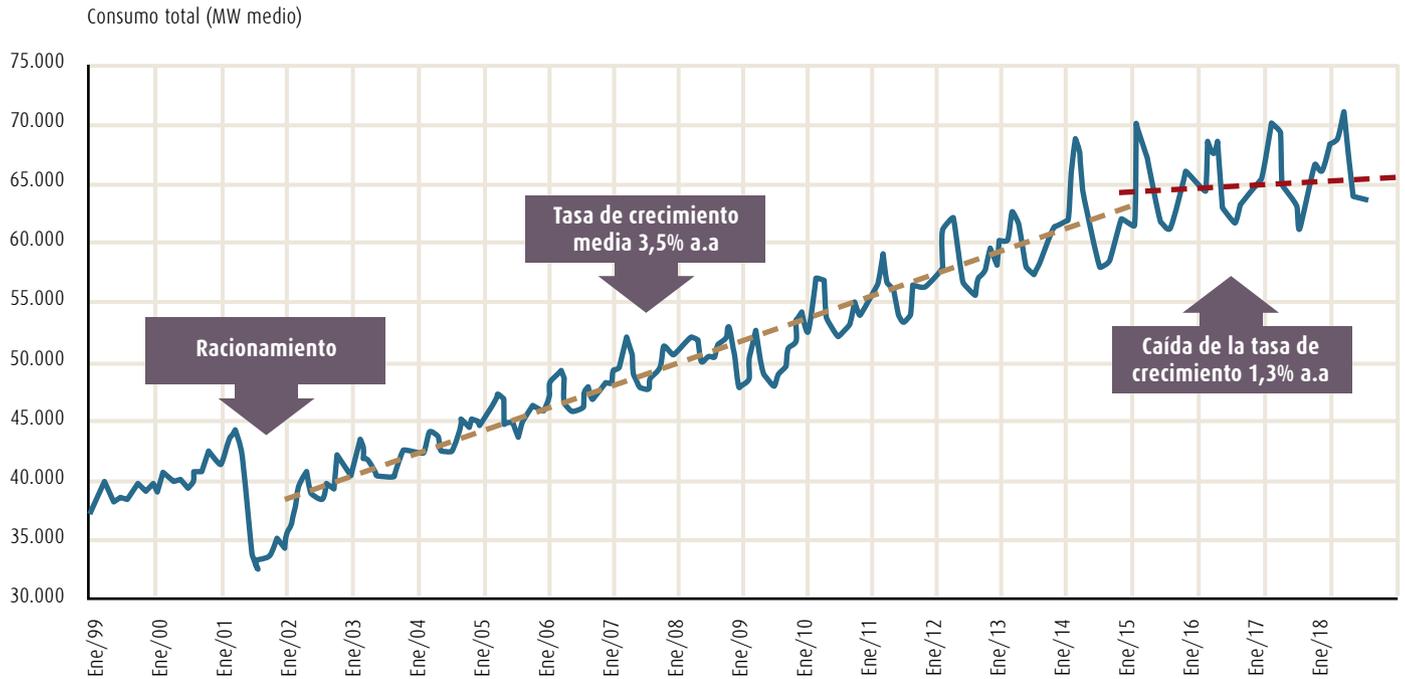
Esos precios de corto plazo, extremadamente bajos, duraron hasta 2012. Eso indujo al mercado libre a un comportamiento especulativo, meramente coyuntural. Ese ambiente, que ya representa 30% del total, no contrató la construcción de ninguna nueva usina de porte, excepto algunas eólicas.

**A causa de la recesión económica, la carga total está estancada desde 2014. Aún así, hace más de cuatro años no se consigue llenar los embalses. El sistema está operando en desequilibrio. La contratación de termoeléctricas caras exige que las hidroeléctricas generen más energía.**

El modelaje adoptado lanzó sobre las distribuidoras toda la responsabilidad de contratación de largo plazo y reservó parte de la energía de los futuros proyectos para ser negociada en el mercado libre. Evidentemente, dado el lado especulativo de ese mercado, muchos proyectos no consiguieron contratos.

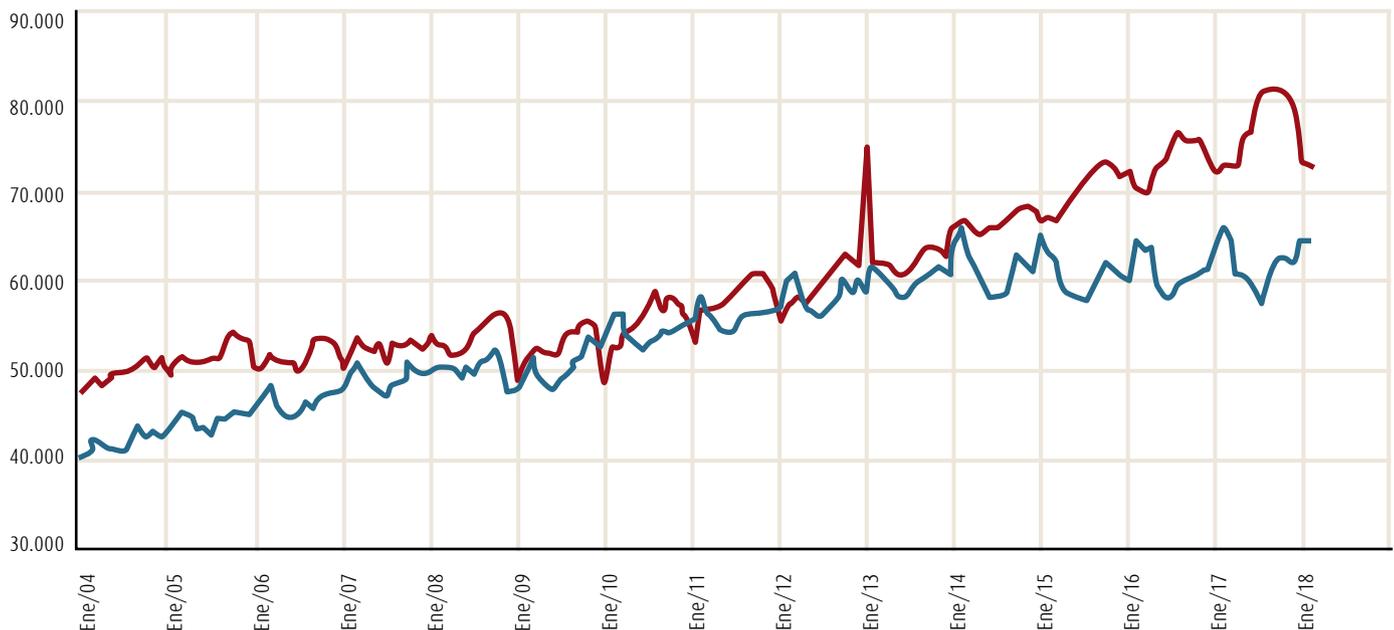
El modelaje causó otros problemas. La Figura 18 muestra la garantía física de todas las fuentes de generación y la demanda total de energía eléctrica. Es fácil notar un “tangenciamiento” de la carga total y de la garantía total en el período 2009–2013. Pero, como vimos, por defectos del modelo, la garantía está sobreestimada, generando riesgos de desabastecimiento, lo que no ocurrió por tres factores:

**Figura 17 | Evolución del consumo y de la carga de energía eléctrica del sistema interconectado**



SE PUEDE VERIFICAR QUE: (A) EL RACIONAMIENTO DE 2001 PROVOCÓ UNA REDUCCIÓN DE 25% EN EL CONSUMO DE ELECTRICIDAD; DESPUÉS DE ÉL, LA EVOLUCIÓN DEL CONSUMO PERMANECIÓ 15% POR DEBAJO DE LA TENDENCIA ANTERIOR; (B) CON EL RETORNO A LA NORMALIDAD, SE OBSERVA UNA TASA MEDIA DE CRECIMIENTO DE 3,5% AL AÑO; (C) DE 2014 HASTA HOY, EL CRECIMIENTO DE LA DEMANDA SE REDUJO DRÁSTICAMENTE POR CAUSA DE LA FUERTE RECESIÓN ECONÓMICA.

**Figura 18 | Evolución de la carga (curva azul) y de la garantía física (curva roja) total del sistema**





CREATIVE COMMONS / LEGACY600

1. La hidrología de los años 2009 y 2011 fue excepcional (30% por encima de la media). En el sistema brasileño, desequilibrios estructurales de oferta y demanda pueden ser enmascarados por hidrologías exuberantes.
2. Al percibir que el mercado libre no garantiza la expansión necesaria, el gobierno usó nuevamente a Eletrobras, forzando asociaciones en las que ella entraba como minoritaria para viabilizar proyectos que exigirían aportes de aproximadamente R\$ 3 billones/año.
3. Fue adoptada una solución provisional por medio de subastas de energía de reserva que, costeadas por encargos, compensarían la sobreestimación de la garantía de las usinas existentes.

Hubo una transferencia implícita de costos, pues muchos de estos proyectos proporcionaron lucros para el socio pri-

vado y perjuicios para la estatal (Eletrobras pasó a tener un alto nivel de endeudamiento, agravado por su exposición en el mercado libre, sin poder disponer de nuevos contratos; aún con tasas de retorno positivas, los proyectos no alcanzan el costo de capital de la estatal).

En 2012, el escenario del sector era inexplicable: tarifas explosivas, inicio de incumplimientos en el mercado libre, encargo de energía de reserva de R\$ 150 billones (acumulados desde su implantación en 2008), atrasos en obras, falta de sincronismo entre obras de transmisión y generación, aumentos significativos en los costos de transmisión e inestabilidad reguladora.

El aumento continuo de precios incomodaba a la industria. En 2011, la Federación de la Industria del Estado de São Paulo (Fiesp) lanzó una campaña que señalaba a los precios practicados por Eletrobras como los responsables por la alta

tarifa. Como la mayoría de las usinas era antigua, el argumento era que el consumidor ya había pagado por esas inversiones, que estaban amortizadas. La tesis de la amortización era verdadera, pero, al ser destacada aisladamente, desvió la atención de todos los otros motivos de la escalada de precios. Una serie de equívocos estaba presente en la campaña:

1. Los precios practicados por Eletrobras no fueron definidos por la estatal. Resultaron de la subasta de energía de usinas existentes, realizado en 2004. Esos valores estaban en un nivel de aproximadamente R\$ 90/MWh.

2. Por tanto, con el modelo de mercado, el concepto de “tarifa”, que contabiliza el nivel de amortización de inversiones, fue abandonado por el concepto de “precio”.

3. El concepto de precio, obtenido en subastas y que permanece siendo co-

regido apenas por índices inflacionarios, fue una elección del gobierno y era bien conocido por los agentes privados.

4. Los precios de subasta de usinas que estaban en construcción, (Santo Antônio, Jirau, Teles Pires) fueron usados para hacer comparaciones (un equívoco que enseguida mostró su dimensión, pues esas usinas están presentando déficits monumentales con los precios definidos, pues las suposiciones sobre término de las obras y comercialización en el mercado libre fueron frustradas).

5. En realidad, la amortización nada tiene que ver con el período de concesión. Es un cálculo puramente contable, aplicado en diversos países. Fue usado en Brasil como “servicio por el costo” y es usado en la mayoría de los estados americanos como “*return rate regulation*” (teóricamente, es posible que una usina amortice su inversión antes del término del período de concesión).

6. En verdad, era ese sistema el que justificaba la baja tarifa de 1995. O sea, aún en aquella época el consumidor ya se beneficiaba de ese efecto.

Sorprendentemente, el gobierno aceptó la tesis de la Fiesp y resolvió anticipar el fin del período de concesión, que terminaría en 2015. En vez de usar los datos contabilizados en los informes de Eletrobras, prefirió rechazar los datos de la Agencia Reguladora y de los auditores oficiales, implantando un modelo matemático que imponía los costos de operación y manutención a las usinas. De ese modo, las usinas dejaban de ser “activos” de la empresa. Ésta pasaba a ser apenas una administradora de operación de la usina.

En los valores practicados en las subastas hubo una reducción de casi 90%. La metodología, repleta de inconsistencias, despreciaba las informaciones de la propia empresa y establecía un precio a partir de un banco de datos formado por usinas muy distintas de las usinas ofertadas.

La Figura 19 especifica las tarifas impuestas por la medida provisional 579, transformada en la ley 12.783/2013, para cada usina de Eletrobras:

La tarifa media, obtenida por la ponderación con la garantía física de cada

usina, pasó a ser R\$ 7,67 MWh, lo que, en la fecha de la emisión de la nota técnica equivalía a US\$ 3,20 MWh, un récord mundial de bajo precio.

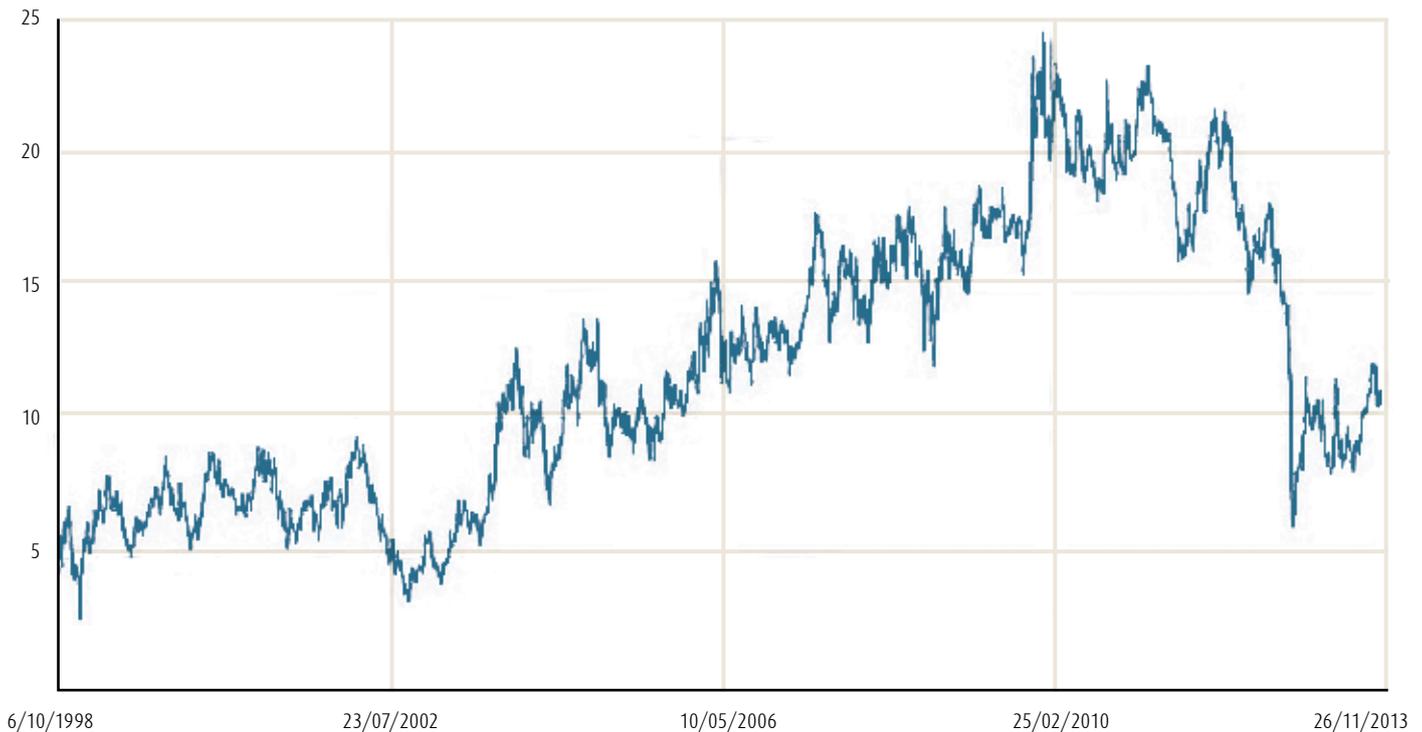
Las consecuencias fueron graves:

1. Esa opción del gobierno, además de fragilizar a Eletrobras, ignoró todos los otros factores de encarecimiento, como surgimiento de diversos encargos, aumento del costo de transmisión, energía de reserva y apropiación de renta por el lado de bajo precio en el mercado libre.
2. Al aislar las usinas y las empresas, la administración central quedó sin el soporte de la renta de esos activos. Era evidente que los perjuicios contables serían significativos. El ejemplo más chocante de ese desacoplamiento es el Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (Cepel), de Eletrobras, que era sustentado por la receta de activos de generación y transmisión.
3. Todavía peor fue el aniquilamiento de la tradicional capacidad de auto-

**Figura 19 | Tarifas impuestas por la medida provisional 579, transformada en la ley 12783/2013, para cada usina de Eletrobras**

Usinas	Potencia (MW)	Tarifa impuesta R\$/kW. Año	Garantía física (MW medios)	Tarifa final R\$/MWh
Funil	216	66,59	121	13,57
Boa Esperança	237	66,74	143	12,63
P Colômbia	319	60,94	185	12
Corumbá I	375	57,59	209	11,8
Estreito	1048	41,58	495	10,05
Furnas	1216	40,6	598	9,42
Marimbondo	1440	39,22	726	8,88
Itaparica	1479	42,67	959	7,51
Xingó	3162	35,61	2139	6,01
P Afonso	4279	29,92	2225	6,57
Total	13771		Média	7,67

**Figura 20 | Cotación de ELB en la bolsa (-70%)**



financiamiento del sector eléctrico. En la concepción aplicada, una usina antigua, dirigida apenas por los costos de operación y manutención, no genera ningún centavo para la construcción de nuevas usinas.

Las figuras 20, 21 y 22 muestran la brutal y repentina caída de valor de Eletronbras.

Aún con cerca de 14.000MW de usinas hidroeléctricas (cerca de 16% del total) cobrando apenas costos básicos (aproximadamente R\$ 35,00 MWh, incluyendo encargos e impuestos), la tarifa no paró de crecer, por diversos motivos.

Para cubrir despensas de la generación térmica, que incluye usinas de óleo combustible y diesel contratadas en 2008, fue creada una “bandera tarifaria”. Se-

gún la Aneel, se trata de un “señalizador”, que puede llegar a adicionar R\$ 50/MWh al precio vigente.

En un país donde la electricidad, en su mayor parte, viene de los ríos, la manera más fácil de justificar una crisis es culpar a la falta de lluvia. La Figura 23 muestra cuales fueron los veinte peores años del historial de afluencias para cada región del sistema.

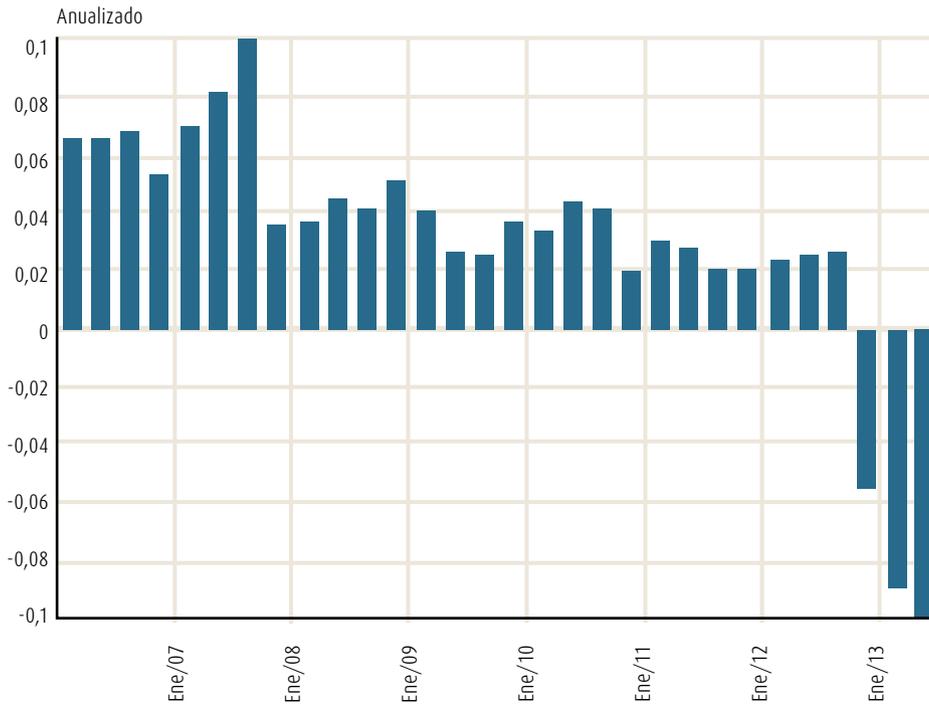
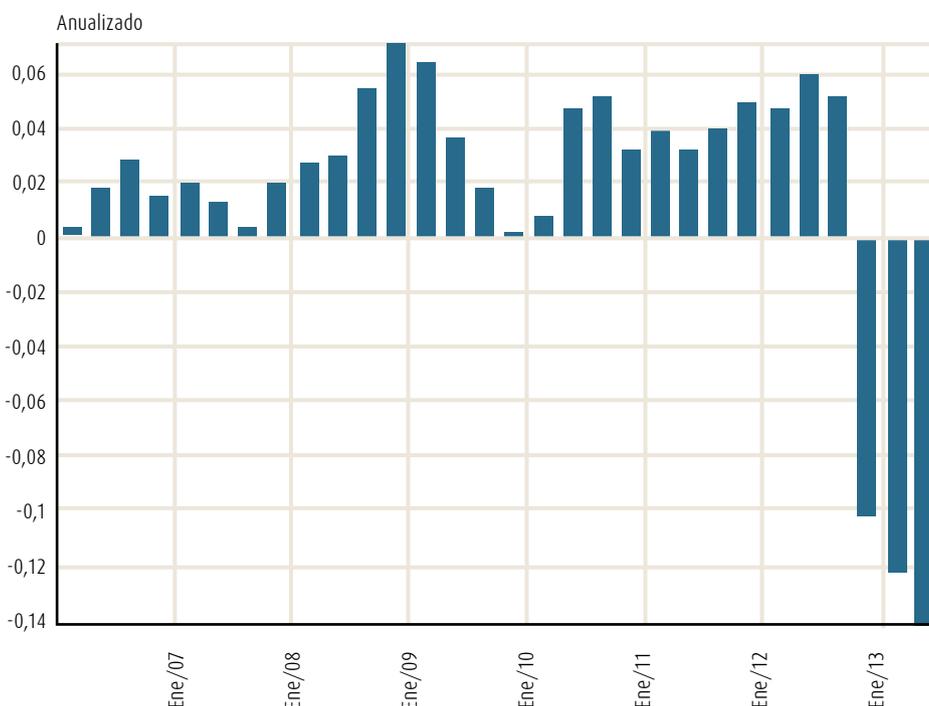
Solamente en el Nordeste las energías naturales fueron las peores del historial. Por el criterio vigente, sólo esta región está en riesgo. En el Sudeste, que recibe de ríos la mayor parte de la energía que consume, las bajas afluencias se concentraron en la década de 1950, conocida como período crítico.

Las dificultades han aumentado. La situación del parque hidráulico está generando un gran escándalo jurídico, ori-

ginado por la individualización de la energía garantizada del sistema por usina.

He aquí la secuencia de los problemas:

1. Las garantías físicas de las usinas fueron determinadas en fechas diferentes y con una metodología que, además de contener parámetros subjetivos, fue alterada diversas veces.
2. Las empresas no participaron en la determinación de ese valor.
3. Las usinas subastadas fueron valoradas exactamente por esa grandeza.
4. La generación de las usinas es determinada por el Operador Nacional del Sistema (ONS), que, como vimos, opera bajo una óptica global y monopolista, sin reconocer contratos.
5. Por orden del ONS, la generación

**Figura 21 | Retorno sobre el capital invertido (-13%)****Figura 22 | Retorno sobre el Patrimonio Líquido (-30%)**

en el período 2012–2018 se redujo drásticamente.

- Para cumplir sus contratos, las usinas hidráulicas enfrentaron un enorme déficit de energía generada. Por el modelaje vigente, ellas son obligadas a adquirir el déficit de energía en el mercado, pagando el precio de la energía térmica, mucho más cara. Ese dilema, llamado Generating Scaling Factor (GSF), ya acumula incumplimientos que alcanzan más de R\$ 9 billones.
- Las usinas afectadas por la ley 12.783/2013, que redujo las tarifas, transfieren ese déficit para las distribuidoras, lo que agrava aún más la situación tarifaria del país.
- Aún con tantos problemas, el sector privado no puede reclamar de bajos retornos en ese sector tan esencial. Datos financieros muestran que, hasta 2014, el sector eléctrico estaba en segundo lugar en el ranking de dividendos pagados a los accionistas, siendo superado apenas por el sector de los bancos. Esa posición se redujo para el tercer puesto posterior a 2014.

La situación actual de la reserva energética aparece en la Figura 24. Como se percibe, hace más de cuatro años que no se consigue llenar los embalses, una evidencia más de que el sistema está en desequilibrio, pues la carga total está prácticamente detenida desde 2014.

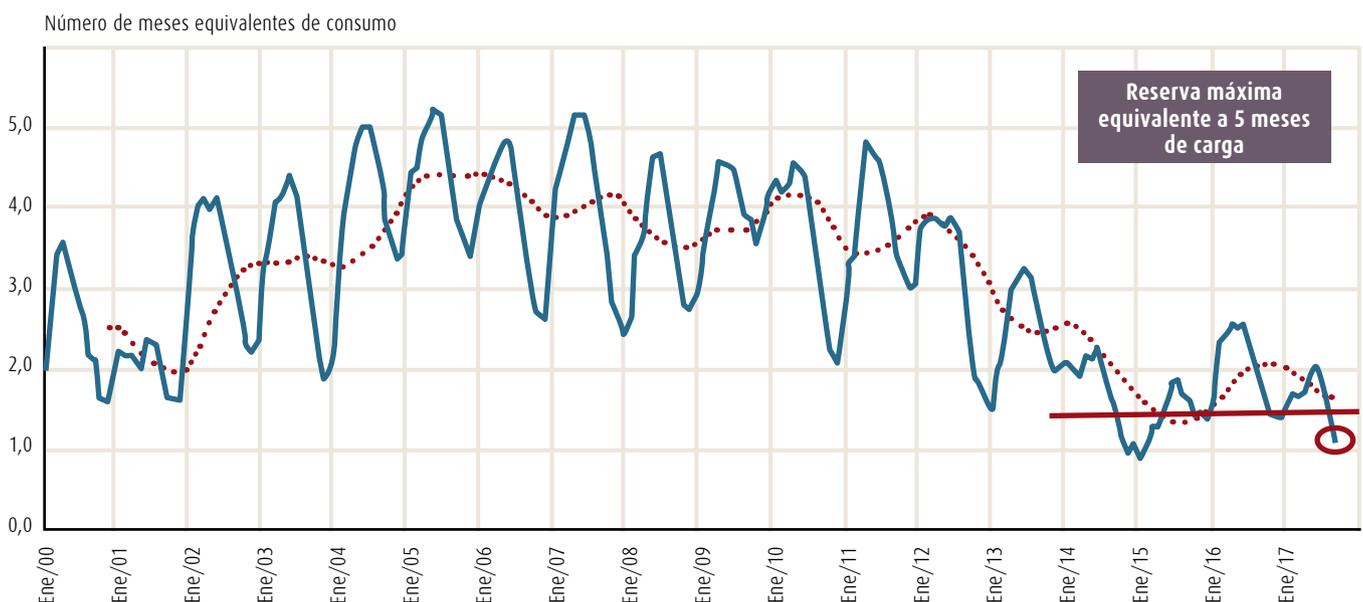
Como vimos, la contratación de térmicas caras (óleo y diesel) exigió más generación de las hidroeléctricas. Esa es una de las causas del vaciado de los embalses.

**Figura 23 | Afluencias por región en años seleccionados**

ORDEN	SUDESTE		NORTE		SUR		NORDESTE	
	AÑO	ENAT	AÑO	ENAT	AÑO	ENAT	AÑO	ENAT
1	1971	27.342	2016	3.960	1945	3.206	2017	2.424
2	1955	27.382	1953	5.165	1944	3.413	2015	3.295
3	1953	28.310	1998	5.259	1968	3.696	2016	3.517
4	1954	28.690	2017	5.423	1933	4.024	2014	3.843
5	1969	29.303	1951	5.510	2006	4.402	2001	4.004
6	1934	30.443	1971	5.593	1949	4.729	2010	5.005
7	1936	31.802	1962	5.642	1978	4.828	1976	5.223
8	1963	32.178	1955	5.721	1962	5.498	2013	5.244
9	1944	32.189	2015	5.891	1934	5.750	1971	5.278
10	2014	32.551	1987	5.896	1991	5.821	1996	5.423
11	1964	32.833	1972	5.904	1985	5.850	1998	5.506
12	1968	33.085	1952	5.933	1943	6.058	1955	5.530
13	2017	33.090	1950	6.130	1952	6.077	2003	5.569
14	1939	33.193	1963	6.221	1964	6.383	1995	5.977
15	1956	33.675	1954	6.250	1951	6.423	2012	6.012
16	2001	33.769	1999	6.336	1959	6.452	1999	6.052
17	1938	34.201	1976	6.445	1981	6.603	1959	6.066
18	1941	35.709	1993	6.644	1940	6.764	1987	6.149
19	1975	35.721	1932	6.659	1937	6.813	2002	6.174
20	1970	36.285	1984	6.669	1974	6.863	1953	6.206

LAS AFLUENCIAS ESTÁN TRANSFORMADAS EN ENERGÍA (MW MEDIOS), SUPONIENDO QUE SERÁN TURBINADAS (ESA TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES, A PESAR DE PODER SUFRIR ALTERACIONES EN EL MUNDO REAL, ES MÁS ÚTIL PARA COMPARAR LAS ENERGÍAS). LOS AÑOS QUE FORMAN PARTE DEL PERÍODO CONSIDERADO COMO "CRISIS" (2012-2017) ESTÁN EN ROJO. ENAT = Energía Natural

**Figura 24 | Situación del almacenaje total en número de meses de consumo**



## Conclusiones

Cuando un sistema de generación depende de la naturaleza en países tropicales, las energías primarias (afluencias de ríos, viento y Sol) varían bastante. En un país de dimensiones continentales, esas variaciones, además de significativas, no coinciden. Así, querer atribuir un valor fijo por usina para mimetizar la formación de precios en un sistema térmico (que depende apenas de combustible) no tiene sustentación teórica.

Hasta la supuesta ventaja de la competencia queda reducida, pues las usinas venden energías que ellas mismas no generan. Por tanto, la eficiencia queda en segundo plano.

Hoy, hay cerca de R\$ 90 billones de costos provenientes del modelaje que todavía no fueron cobrados al consumidor. Se acostumbra llamarlos “esqueletos”. Ellos asustarán las cuentas de luz por mucho tiempo.

Los orígenes de eso son diversos: déficit hídrico de las hidráulicas, indemnizaciones aún no pagadas y que surgieron a causa de la intervención del gobierno de Dilma, déficits de las “banderas tarifarias” que no consiguen cubrir el costo térmico, subsidios para la tarifa social, subsidios para las térmicas del sistema aislado y deudas asumidas por Eletrobras relativas a las distribuidoras rechazadas cuando la privatización de la década de 1990.

Las propuestas que están siendo discutidas prometen más mercado y menos coordinación, lo contrario de la lógica que fue expuesta en este texto. Eso exigirá más excentricidades y complejidades, sin traer reducción de tarifas, estabilidad reguladora, capacidad de financiamiento y seguridad energética.

Con Eletrobras prácticamente quebrada, corremos el riesgo de repetir la experiencia de 2001, cuando el capital se concentró en adquirir activos listos, abandonando la expansión.

Dadas la geografía y la naturaleza brasileñas, ambas tan favorables, algo muy

## ESBOZO DE UNA ALTERNATIVA

La potencia de las usinas son valores fijos que están registrados en los manuales de las turbinas y los generadores. No dependen de criterios burocráticos externos.

Estableciéndose que la fórmula de las usinas pasa a ser proporcional a la potencia, ellas tendrían fórmulas constantes y garantizadas, lo que incentivaría al inversionista a introducir mejoras permanentemente. El inversionista en hidráulicas no asumiría el riesgo hidrológico billonario que está ocurriendo hoy.

Las térmicas serían remuneradas por la potencia más el costo del combustible en caso de despacho, pudiéndose considerar casos en que apareciesen inflexibilidades.

Como parte significativa de las fuentes estaría contratada por potencia, la fórmula sería la misma, independientemente de la hidrología. Por tanto, bajo hidrologías exhuberantes, la fórmula extra resultante de la mayor generación a menor costo pertenecería a todos los consumidores. Un fondo compensador de situaciones hidrológicas adversas sería posible. En ese sistema no ocurriría la situación de saldos que no compensan déficits, como mostramos en la figura 12.

El mercado de energía podría existir, desde que fuese realmente fruto de la interacción de ofertantes y demandantes. No existiría la liquidación de diferencias de generación al precio del costo marginal de operación (CMO). Cambios en los criterios de operación no afectarían el mundo comercial, pues serían alteraciones de metodología interna del comprador mayoritario.

Las “garantías físicas” de las usinas podrían existir, pero serían parámetros orientadores de la política de contratación y podrían ser alteradas sin problemas.

Esta propuesta fue presentada al gobierno de Lula, pero chocó con una dificultad política: ella exige la definición de un ente que contrataría los MW necesarios para que el sistema consiguiese garantizar los MWh del consumo. Según el gobierno, el “mercado” entendería eso como “estatización”. Ese prejuicio no tiene sentido. Pues, al hacer el plan de expansión, el gobierno, a través de sus diversas instituciones, hace exactamente lo que ese contratante haría. En realidad, el modelo ya existe en la transmisión, de modo que ese papel podría ser ejercido por una de las entidades ya existentes.

Se propuso también la unión de las instituciones de planificación y operación, pues el proceso de planificación depende de simulaciones operativas. Con eso, evitaríamos la actual discrepancia de criterios entre la EPE y el ONS.

En verdad, Brasil ya tenía la situación que comienza a surgir en los países de base térmica que enfrentan la entrada de fuentes eólica y solar que no son despachadas y absorben el mercado de las térmicas despachables. Por causa de la volatilidad de la demanda y de los precios, esos mercados han dado preferencia a contratos de potencia, en vez de competir por energía.

errado fue aplicado aquí. La complejidad, además de ser generadora de costos, es una poderosa herramienta de desinformación, uno de los grandes males del Brasil actual.

Lamentablemente, la individualización, concepto crecientemente implantado en varias actividades

económicas bajo el abordaje de un liberalismo radical, polemiza con la singularidad geográfica y climática brasileña. El gran avance tecnológico que Brasil acumuló en décadas anteriores, con la formación del sistema interconectado, se está perdiendo. ■

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

# Políticas brasileñas en el siglo XXI



No debemos mimetizar las políticas de los países desarrollados. La agenda brasileña necesita mantener la dimensión social en el centro de sus preocupaciones, incentivando la investigación tecnológica orientada a problemas locales y a la provisión de bienes y servicios esenciales, como alimentación, salud, educación, habitación, tratamiento de residuos sólidos, acceso a agua potable y energía, entre otros servicios, inclusive la cultura. Para eso, las políticas de ciencia y tecnología deben tomar en consideración la dimensión territorial. En vez de producir bienes intensivos en recursos naturales no renovables, debemos valorizar el nuevo paradigma de la sustentabilidad. Todo eso debe hacer parte de un nuevo proyecto nacional de desarrollo que destaque las especificidades de nuestro país.

## Introducción

La industria brasileña perdió densidad y dinamismo en las últimas décadas. Algunos autores asocian esto a los esperados efectos de las políticas de austeridad, a la apreciación cambiaria, a las altas tasas de interés y demás elementos de políticas macroeconómicas restrictivas, así como al aumento de los precios de las *commodities*, resultante del llamado “efecto China”.

Argumentamos en este artículo que tales factores volvieron aún más agudos algunos fenómenos ya evidentes en las décadas de 1980 y 1990. Después de haber internalizado los beneficios de la Segunda Revolución Industrial, la industria brasileña debería enfrentarse con una reestructuración que incorporase la revolución socio-técnica en curso. El fortalecimiento de la financierización, la reorganización de las actividades productivas y de las grandes empresas transnacionales, así como la crisis mundial iniciada en 2007-2008 agravaron la situación y adicionaron nuevos desafíos. El realce positivo quedó por cuenta del conjunto de políticas adoptadas por Brasil para enfrentar las etapas iniciales de la crisis, principalmente con la actuación de los cinco bancos oficiales, que garantizaban la inversión productiva y la sobrevivencia de las principales empresas. También hubo cambios en la geopolítica introducidas por la formación de alianzas, como la de los BRICS. Tales características no pueden ser ignoradas cuando se discuten los actuales desafíos del desarrollo productivo y tecnológico en Brasil.

Evidentemente, para que se haga efectiva la promesa de convertirse en el “motor del desarrollo” (Freeman 1982), ciencia, tecnologías e innovación (CT&I) necesitan ser usadas por el sector productivo. Este artículo retoma la discusión sobre la política de CT&I brasileña a partir de esas consideraciones. El texto está organizado de la siguiente



**José E. Cassiolato**

Profesor-doctor del Instituto de Economía de la UFRJ. Coordinador de la Red de Investigación en Sistemas y Acuerdos Productivos e Innovadores (RedeSist). Secretario-general de la Red Globelics y presidente del Consejo del Centro de Altos Estudios Brasil Siglo XXI.



**Helena M. M. Lastres**

Profesora-doctora del Instituto de Economía de la UFRJ. Coordinadora de la RedeSist.

te manera: el ítem 2 hace un breve análisis y valoración de la política brasileña; el ítem 3 presenta una síntesis de las principales transformaciones de la estructura productiva e innovadora brasileña, mostrando cómo, a pesar de las políticas implementadas, se confirmaron los problemas percibidos desde la transición del milenio; el ítem 4 discute las implicaciones de política a partir de una visión contextualizada y sistémica de innovación. Finalmente llegamos a la conclusión, con sugerencias de política.

## Breve histórico de la política brasileña de ciencia, tecnología e innovación

La explotación portuguesa en Brasil, entre los siglos XV y XVIII, impidió que se estableciese en la entonces colonia cualquier actividad productiva que compitiera con las que podían ser realizadas en Portugal (o en sus socios comerciales), así como cualquier actividad académica o de investigación. Diferentemente de lo que sucedió en la América española – donde surgió una universidad en Santo Domingo, en 1538, luego después de la conquista –, los primeros cursos de nivel superior (derecho y medicina) sólo fueron instalados en Brasil en 1808, cuando la sede del reino portugués fue transferida para acá. La primera universidad brasileña – la actual Universidad Federal de Rio de Janeiro – sólo surgió en el siglo XX. A lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, en la medida en que la monarquía y la esclavitud se desmoronaban, creáronse los primeros cursos de graduación en in-

geniería (la Escuela Politécnica de Rio de Janeiro en 1874) y centros de investigación en ciencias naturales (Museo Emílio Goeldi, en Pará, en 1885), agropecuaria (Instituto Agronómico de Campinas en 1887) y salud e higiene (Instituto Bacteriológico de São Paulo en 1893, Instituto Butantã en 1899 e Instituto Oswaldo Cruz en 1908).<sup>1</sup>

La creación de estos centros de entrenamiento e investigación técnica pretendía atender a las necesidades de las principales actividades exportadoras de Brasil en el período: café y azúcar. Por ejemplo, el Instituto Oswaldo Cruz, hoy una de las más renombradas instituciones de investigación en biología en el mundo, sólo fue creado después que embarcaciones extranjeras amenazaron no atracar más en el puerto de Rio de Janeiro por causa de la fiebre amarilla.

Una institucionalización más amplia del sistema científico y tecnológico – y de una política dirigida a él – sólo ocurrió después de la Segunda Guerra Mundial, acompañando el proceso de industrialización. Las primeras iniciativas de política científica y tecnológica explícita terminaron por instituir, en 1951, el Consejo Nacional de Investigaciones (CNPq), con la misión de coordinar y promover la investigación científica en Brasil, y la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (Capes), con el objetivo de mejorar la enseñanza superior y garantizar la existencia de personal especializado para realizar la transformación económica del país.

En ese período, otras instituciones de P&D fueron creadas fuera de las áreas agrícola y biomédica:

el Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF), 1949; el Instituto Tecnológico de la Aeronáutica (ITA), 1950; a continuación, el Centro Tecnológico de la Aeronáutica (CTA). Una década después fueron establecidos los centros de investigación en las empresas estatales: el Centro de Investigaciones Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), de Petrobras, 1963; el Centro de Investigaciones de Energía Eléctrica (Cepel), de Electrobras, 1974; el Centro de Investigación y Desarrollo (CPqD), de Telebras, 1976. En este período también fue creada la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), 1973, además de centros de investigación tecnológica en diferentes estados de la Federación, siguiendo el modelo del Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT) de São Paulo, que había sido creado en 1889.

Todavía en la década de 1960 fue creado el Fondo Tecnológico (Fundtec) en el entonces Banco Nacional de Desarrollo Económico (BNDE, hoy BNDES) a fin de proveer recursos financieros para actualizar y fortalecer la infraestructura científica y tecnológica brasileña. Eso debía ser alcanzado con la creación de programas conjuntos de investigación y pos-graduación, principalmente (pero no exclusivamente) en universidades públicas e institutos de investigación. El otro cambio institucional importante fue la creación de la Financiadora de Estudios y Proyectos (Finep) en 1969, una agencia del Ministerio de Planificación. Cuando inició sus actividades, la Finep realizaba principalmente estudios de viabilidad. A partir de 1971, sus funciones fueron ampliadas, pa-

ra convertirse en una secretaría-ejecutiva del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FNDCT), creado en 1969.

La decisión de invertir en la formación de investigadores, teniendo a las universidades públicas como principal base institucional, trajo innumerables avances, con la consolidación de una significativa infraestructura de C&T. A lo largo de la década de 1970 fueron creados cerca de ochocientos nuevos cursos de maestría y doctorado, que sumaban más de mil, abarcando todas las áreas del conocimiento (Erber, 1980). El número de maestros formados en 1990 ultrapasaba 5.500 y los doctores pasaban de 1.400. Sin embargo, a pesar de todo el esfuerzo de planificación, se obtuvieron resultados muy limitados en la promoción del desarrollo tecnológico (Cassiolato 2001).

Varios estudios que examinaron el comportamiento tecnológico de las empresas privadas brasileñas en el período (Cassiolato, 1992) encontraron estrategias de innovación pasivas, bajos niveles de actividades de P&D y débiles vínculos con institutos de investigación industrial y universidades. Los grandes conglomerados de propiedad local se concentraron principalmente en industrias de transformación de materia prima, produciendo *commodities* padronizados, como papel y celulosa, hierro y petroquímicos, que no exigían esfuerzos significativos de capacitación, P&D e ingeniería para aumentar el valor adicionado doméstico y avanzar en la producción de bienes y servicios más complejos. Al contrario, ellos tendieron a permanecer en los niveles más elementales de procesamiento de las ma-

terias primas disponibles localmente. En cuanto a las empresas extranjeras, sus esfuerzos tecnológicos generalmente se destinaban a adaptar productos y tecnologías (de proceso y organizacionales) a las condiciones locales y a monitorear oportunidades tecnológicas y recursos humanos calificados.

## **Las industrias han usado los recursos gubernamentales de C&T para comprar máquinas y equipamientos, con modernización tecnológica, pero sin compromiso con la innovación. Los resultados son frustrantes.**

Las empresas públicas tuvieron el papel más activo en el desarrollo tecnológico. Ellas crearon sus propios departamentos de P&D y de ingeniería para desarrollar tecnologías específicas para el ambiente y los recursos del país. Además de los ya citados – Cenpes, Cepel y CPqD –, este también fue el caso de Usiminas, en la industria de acero, y de Embraer, en la aeronáutica (Cassiolato y Lastres, 2016).

Así, en las décadas de 1970 y 1980, significativos centros públicos de P&D y de ingeniería cons-

tituyeron el núcleo central del sistema nacional de innovación brasileño. No obstante, las crisis del petróleo y de la deuda externa afectaron la transformación productiva en curso en Brasil, teniendo impacto significativo en las inversiones gubernamentales de C&T.<sup>2</sup>

El gobierno democrático iniciado en 1985 creó el Ministerio de Ciencia y Tecnologías (MCT), puso la innovación en la agenda política y estableció programas importantes de recursos humanos en las nuevas áreas de tecnologías de la información, biotecnologías y materiales avanzados, además de reubicar el financiamiento público a la investigación en los niveles de 1970. Sin embargo, la profundización de la crisis inflacionaria, en la década de 1980, trajo considerable inestabilidad institucional.

A lo largo de la década de 1990, la profundización de la crisis y la adopción de políticas neoliberales relegaron la política de C&T a un plano inferior. La política industrial neoliberal – basada en liberalización, desreglamentación y privatización – trajo implícitamente la idea de que innovación y capacitación tecnológica deberían ser dejadas para las “fuerzas del mercado”. Como se ha resumido por Coutinho y Belluzzo (1996, p. 129), “la hegemonía del pensamiento neoliberal instituyó un nuevo paradigma, en que el predominio de las relaciones de mercado (con privatización y desreglamentación) minimizaría incisivamente el papel que debería ser desempeñado por el Estado. Bajo la égida de la globalización [...] la política de desarrollo se reduciría a la creación de condiciones propicias para atraer inversionistas, lubrifi-

cándose al máximo la libertad privada de acumulación.”

La C&T retornó a la agenda de prioridades gubernamentales al final de la década de 1990, pero permaneció subordinada al neoliberalismo. Dos iniciativas se destacaron: la constitución de dieciséis fondos sectoriales y el inicio de un amplio proceso de movilización de los estados para la construcción de políticas subnacionales de C&T, que en mucho contribuyeron a ampliar el financiamiento del sistema. A pesar de ello, Brasil vivía su “segunda década perdida”, con fortalecimiento de los regímenes “macro-económicos malignos”, “especialización regresiva” y pérdida de densidad productiva.<sup>3</sup> Además de eso, las orientaciones e instrumentos se basaron principalmente en la mimetización tanto de instrumentos tradicionales, algunos ya adoptados hace décadas, como de las nuevas leyes de innovación que marcaron el escenario de la década de 1990 en los países más desarrollados. Estos, con raras excepciones, determinaron crear y engrasar las conexiones entre el sector industrial y las universidades por medio de proyectos conjuntos de P&D, los cuales ya eran implementados en Brasil desde la década de 1970, pero sin mucho éxito.<sup>4</sup>

El gobierno iniciado en 2003 reintrodujo en la agenda gubernamental la política dirigida a la producción. El punto central previa implementar estímulos y promover la innovación en las empresas. Fueron dos los compromisos básicos asumidos con el área de CT&I. El primero fue el de ampliar significativamente las inversiones públicas para (i) expandir y consolidar el sistema

nacional de C&T, teniendo en vista mejorar su distribución regional; (ii) priorizar P&D en áreas estratégicas; y (iii) articular mejor los objetivos del desarrollo científico y tecnológico y del desarrollo social (inclusivamente apoyando la consolidación y ampliación de sistemas locales de producción e innovación). El segundo compromiso fue el de articular la estrategia nacional de CT&I con las demás políticas federales, en especial la política industrial.

La política de C&T avanzó significativamente en dos puntos: (i) terminó con la inestabilidad, observada en los cincuenta años anteriores, en la ubicación de recursos públicos; (ii) a partir de tal estabilización, proporcionó un aumento significativo en el aporte de recursos públicos federales para la infraestructura de C&T. Se observó también una creciente, sin embargo modesta, desconcentración espacial de las actividades de C&T.

Se debe mencionar, además, el énfasis dado a partir de 2003 al aumento de la capacitación científico-tecnológica a través de significativa inversión en la creación de nuevas universidades públicas e instituciones federales de educación profesional y tecnológica, además del resurgimiento de las ya existentes. A partir de 2003 fueron creadas dieciocho nuevas universidades públicas en regiones hasta entonces no contempladas, además de más de 280 institutos federales de educación, ciencia y tecnologías, con cursos técnicos, en su mayoría de forma integrada con enseñanza media, licenciaturas y graduaciones tecnológicas, especializaciones, maestrías profesionales y doctorados. Estos tenían en vista, princi-

palmente, movilizar investigaciones tecnológicas articuladas a las especificidades y a las vocaciones del desarrollo local y regional.

La política brasileña de apoyo a la infraestructura de C&T presentó estos y otros modestos resultados positivos, pero la política de innovación continuó subordinada a los cánones de la “convención institucionalista de corte neoliberal” (Erber, 2011). En la Ley de Innovación ella siguió, sin grandes alteraciones, las propuestas defendidas por organizaciones internacionales, como la OCDE y el Banco Mundial. Se basó en dos mecanismos que pretendían (a) estimular la interacción de universidades y empresas (incubadoras, ciudades innovadoras, núcleos de innovación tecnológica, redes de innovación, plataformas tecnológicas, entre otras) y (b) disminuir los costos de la innovación. Gran parte fue realizada por medio de incentivos fiscales y crediticios dirigidos hacia las actividades innovadoras, ubicados por el Ministerio de Ciencia, Tecnologías e Innovación, el BNDES y la Finep.<sup>5</sup>

Como fue detalladamente analizado en otros trabajos (Cassiolato y Lastres, 2016), el impacto de esa política ha sido muy modesto. La principal crítica a estos mecanismos es que ellos, por ser genéricos, sirven principalmente para reducir costos de P&D en actividades ya realizadas por las empresas. Más aún, apenas empresas que declaran lucro líquido pueden beneficiarse de la mayoría de los incentivos. Las micro, pequeñas y medias empresas no tienen acceso a ellos. Así, el tipo de política practicada es, por definición, muy limitada para encargar nuevas inversiones dirigidas

**Vivimos un proceso de especialización regresiva, con fortalecimiento de actividades económicas menos intensivas en ciencia y tecnología y menos capaces de agregar valor a la producción.**

a la innovación. Además de eso, se destinan a un número reducido de agentes, actividades y regiones.<sup>6</sup>

La gran mayoría del apoyo efectivamente usado por el sector industrial se dirigió a la compra de máquinas y equipamientos, lo que indica más propiamente una modernización tecnológica que un compromiso con la innovación. Así, no sorprende que los datos de la Investigación de Innovación Tecnológica (Pintec) del IBGE muestren que, a lo largo de casi dos décadas de políticas activas, los dispendios en actividades innovadoras

por parte de las empresas hayan caído en términos relativos, pasando de 3,89% de la receta líquida de ventas en el período 1998-2000, para 2,80% entre 2004 y 2006, 2,60% entre 2006 y 2008, 2,37% entre 2009 y 2011, y 2,12% entre 2012 a 2014. Adicionalmente, cabe notar que las subsidiarias de empresas transnacionales son las que más se han beneficiado de los incentivos fiscales y de los financiamientos a la innovación, con resultados próximos a nulos. A pesar de los beneficios recibidos, esas empresas, en su gran mayoría, han dis-



minuido los esfuerzos de P&D y de innovación en el país. Aún más grave que el reducido compromiso con el avance tecnológico brasileño por parte de esas empresas es que esto fue acompañado por significativo aumento de las remesas de lucros y dividendos a sus matrices, en especial después de la crisis de 2007. A partir de entonces, hubo gran incremento en esas remesas, que saltaron de la media anual de US\$ 5 billones en el período 1990-2005 para sorprendentes US\$ 25 billones por año a partir de 2007 (valores de 2009).<sup>7</sup>

En suma, las políticas de CT&I e industrial no fueron orientadas para aprovechar los progresos de las políticas sociales, no lograron anclar los resultados positivos de la política de capacitación y de ampliación de la infraestructura de C&T y no impidieron que el país continuase perdiendo capacidad productiva y tecnológica. Esta involución está asociada a la propia concepción de la política, basada en modelos exógenos, con aplicación descontextualizada, y ultrapasados, basados principalmente en una noción restricta y lineal de innovación. Su principal problema es la ausencia de un proyecto nacional de desarrollo que la oriente y le de coherencia.

**El aumento de la internacionalización de la estructura productiva brasileña dificulta el desarrollo tecnológico e innovador local.**

A partir de 2016, con la profundización de las políticas de austeridad, se redujo la importancia de la CT&I. El Ministerio de CT&I fue absorbido por el Ministerio de Comunicaciones. A esto se asoció una drástica reducción de recursos presupuestarios que desafió los avances obtenidos en el período anterior y la propia sobrevivencia de las instituciones de enseñanza e investigación del país..

## La estructura productiva brasileña

Al inicio de la década de 2000, la industria brasileña se caracterizaba por una fragilidad que “se reflejaba en la vulnerabilidad comercial en prácticamente todas las áreas industriales con mayor valor agregado y, principalmente, en las áreas con contenido tecnológico sofisticado”; la misma fragilidad era “evidente en las industrias tradicionales de bienes de consumo no duraderos” (Cassiolato, 2001, p. 7). La explosión del desarrollo chino a lo largo de la década de 2000 y la generación de saldos respetables en la balanza comercial brasileña, gracias al aumento en el precio y en el volumen de nuestras exportaciones de *commodities*, apenas postergaron la explicitación de problemas que ya eran perceptibles en la época. Desde entonces y hasta la presente década, economía y sociedad brasileñas pasaron por innumerables transformaciones. Las políticas de inclusión social y la mejoría en la distribución de la renta (pero no de la riqueza) fueron revertidas desde el inicio de la década de 2010, mostrando la fragilidad político-institucional de ese proceso. Desde el

punto de vista de la estructura productiva, continuamos con un desempeño competitivo mediocre y con fragilidad comercial en todos los segmentos con alto valor agregado y alto contenido tecnológico. Con pocas excepciones, Brasil sólo es competitivo en actividades ligadas a *commodities* con larga escala de producción y bajo valor agregado – intensivas en energía y en recursos naturales.

Entre 1947 y 1985, la participación del valor adicionado de la industria de transformación brasileña en el PIB creció de 19,8% hasta un pico de 35,9%. Desde entonces, ella viene perdiendo terreno, llegando a 18% en 2003, 13,1% en 2013 y 11% en 2016. En la industria, también se observa la incapacidad de incorporar actividades que caracterizan la Tercera Revolución Industrial. Por ejemplo, el valor de la transformación industrial (VTI) del conjunto de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) vienen perdiendo participación relativa en el VTI total de la industria manufacturera, cayendo de 5,5% en 2000 para 2,17% en 2015. En relación al PIB, el peso de esas industrias era de aproximadamente 1,4% en 2000, pero cayó para 0,97% en 2005 y 0,21% en 2015.<sup>8</sup>

Disminuye el peso relativo del sector industrial y permanece baja la capacidad innovadora. Aumentan el peso de sectores menos intensivos en tecnologías, así como la dependencia y fragmentación de los sistemas productivos brasileños. Todo eso ha llevado a un proceso de especialización regresiva (Coutinho, 1997), con importante pérdida del “núcleo” del tejido industrial brasileño (Cano, 2012). Esa

desindustrialización y el deterioro del tejido industrial se vinculan a un modelo de desarrollo, implantado en la década de 1950 y que perdura hasta hoy, en el cual la atracción de empresas transnacionales cumple papel primordial. En las últimas décadas, eso ha llevado a una creciente desnacionalización de la economía. Datos del Banco Central<sup>9</sup> muestran que la reserva de capital extranjero en la industria brasileña avanzó de US\$ 41 billones en 1995 para US\$ 162,8 billones en 2005 y US\$ 703 billones en 2016. La participación del capital extranjero en el PIB creció de 6,1% en 1995 para 17,7% en 2005 y 25% en 2016.

El aumento de la internacionalización de la estructura productiva brasileña es un significativo obstáculo al desarrollo tecnológico e innovador local, pues las principales actividades tecnológicas de las subsidiarias de las empresas transnacionales se resumen a adaptaciones y mejorías de productos y procesos. Además de eso, esas empresas importan muchos insumos (Cassiolato et al 2015).

En Brasil, esperábase que la apertura de la década de 1990 pudiese motivar esfuerzos innovadores y tecnológicos de firmas extranjeras, contribuir para un cambio estructural y reducir el déficit comercial por medio del aumento de las exportaciones. Sin embargo, las nuevas inversiones fueron en gran parte *market seeking*, dirigidas a explorar las oportunidades ofrecidas por el mercado interno (incluyendo el Mercosur) y adquirir empresas locales. Hubo poca inversión nueva. En otro trabajo (Cassiolato e Lastres, 2013) argumentamos que

los esfuerzos tecnológicos de las empresas transnacionales en los países periféricos son casi exclusivamente adaptativos. Diversos estudios sobre Brasil (Cassiolato et al 2014) demuestran empíricamente esta argumentación.

### Innovación, sistema global, financierización y papel de las empresas transnacionales

Después del fin de la Segunda Guerra Mundial, el debate brasileño y latinoamericano sobre desarrollo destacó el desafío de internalizar los motores del progreso técnico a partir de una perspectiva más amplia y sistémica, no apenas desde el punto de vista de la innovación, sino, principalmente, de la economía y de la geopolítica global. Los estructuralistas, en especial Celso Furtado (1954), señalaban que “muchas de las manifestaciones más significativas del progreso técnico sólo pueden ser captadas plenamente a través de una visión global del sistema nacional, que incluya la percepción de las relaciones de este sistema con el ambiente que lo controla e influye”.

Este cuadro permite constatar un desafío importante para los países menos desarrollados: los procesos de desarrollo de esos países reflejan más propiamente procesos de imitación que una reflexión sobre carencias y potencialidades internas. Como fue destacado por Furtado (1974), las empresas transnacionales obedecen orientaciones que escapan a la acción aislada de cualquier gobierno. En la secuencia, él explicó cómo las empresas transnacionales bloquean la internalización

del progreso técnico y la creación de centros dinámicos en la estructura productiva brasileña.<sup>10</sup>

Fajnzylber (1989, p. 857) resumió esta discusión, señalando que “el conjunto vacío”<sup>11</sup> del desarrollo económico y social latinoamericano estaría directamente vinculado a la incapacidad de abrir la caja negra del progreso técnico. El origen de eso estaría en la propia formación de las sociedades latinoamericanas y de sus instituciones, así como en su contexto cultural subdesarrollado y colonizado.

En Brasil de la década de 1990, el reiterado énfasis en las empresas transnacionales llevó a Furtado y a otros estructuralistas brasileños a alertar sobre las distorsiones en la estructura de producción y de mercado que podrían provenir del poder de monopolio de las grandes corporaciones transnacionales, con la “importación de tecnologías concebidas en las economías líderes de acuerdo con una constelación de recursos totalmente diferente de la nuestra” (Tavares 1972, 50). En las palabras de Freeman, “la importación indiscriminada de tecnologías desarrolladas para ambientes completamente diferentes puede tener efectos desastrosos en términos sociales y de empleo” (1982, p. 184). La dependencia tecnológica explica por qué, aún con alto grado de diversificación, los países periféricos generalmente no son capaces de romper con la dominación económica a que están sometidos.

Los efectos negativos de las subsidiarias de las empresas transnacionales se vuelven más claros cuando se percibe que la morfología de esas empresas y sus estrategias se alteraron profundamente en la glo-

balización dominada por las finanzas, que las subordinó a la lógica y al comando del capital financiero, modelando nuevas articulaciones entre finanzas e industria.

La mayor parte de esas estrategias se basa en la centralización de activos financieros, realizada por una empresa *holding*, la mayoría de las veces localizada en paraísos fiscales, fuera del alcance de la legislación y del control de las instituciones de sus países originarios. Las empresas transnacionales pasan a caracterizarse por un relativo declinio de la importancia atribuida a las actividades de producción, aumentando la relevancia de las actividades financieras y la apropiación de valor en activos intangibles. Sauviat y Chesnais (2005) discuten los efectos negativos de esas presiones y de la tendencia a la maximización del retorno de corto plazo sobre las inversiones, en detrimento de aquellas que implican retorno más largo (como en educación, capacitación y P&D). Ellos señalan el predominio de estrategias adaptativas, en vez de innovadoras, alertando que tal régimen se sustenta en la explotación de capacitaciones acumuladas en el pasado, principalmente por organizaciones públicas de enseñanza e investigación. Eso pone en riesgo la propia capacidad de continuarse financiando y produciendo conocimiento e innovación en el futuro. Serfaty (2008) agrega que, en la mayoría de los casos, las nuevas estrategias intentan preservar actividades que permiten obtener altos márgenes de lucros, como *design* e inteligencia de negocios, integración final del producto, asistencia técnica y otros servicios pos-venta.

Mantener y ampliar laboratorios de P&D en los diferentes espacios nacionales permite que la empresa transnacional tenga mayor acceso a las capacitaciones y a las rutas tecnológicas desarrolladas en cada sistema nacional de innovación. Así, la irradiación del avance tecnológico sigue una dirección inversa a aquella que supone el argumento usual: cuando es la empresa transnacional la que posee las principales capacitaciones y está organizada mundialmente, con posiciones únicas de negociación, ella consigue absorber las diferentes matrices de conocimientos disponibles en los diferentes sistemas nacionales de innovación, y no lo contrario (Cassiolato, Zucoloto y Tavares, 2014).<sup>12</sup>

En casos en que Brasil se destaca, la llamada internacionalización de las actividades de P&D se refiere, primeramente, a la adquisición de capacitaciones locales por parte de empresas transnacionales, especialmente por la adquisición de empresas nacionales, cuyos laboratorios de P&D son “heredados” por las compradoras. No faltan ejemplos en los que las operaciones de esos laboratorios son reducidas o cerradas (Cassiolato *et al.* 2001). Así, son ilusorios y equívocos los objetivos de los países en desarrollo, particularmente de Brasil, al atraer inversión extranjera en la expectativa de que constituya automáticamente un pilar de la renovación industrial y del aumento de capacitación tecnológica interna. Ellos subestiman la naturaleza y la fuerza de los factores estructurales que modificaron significativamente las estrategias y las prioridades de inversión de las empresas transnacionales.

Esas transformaciones son coherentes con la división internacional del trabajo identificada por Furtado, ahora con nuevas características, manteniendo, todavía, la concentración de las actividades intensivas en conocimiento en los países centrales, con las actividades menos estratégicas localizadas en los países periféricos. Al negar la hipótesis de los beneficios de la división internacional del trabajo basada en el principio neoclásico de las ventajas comparativas, Furtado deja claro que la división del trabajo entre centro y periferia mantiene y amplía las lagunas de desarrollo y conocimiento entre las naciones. Los países líderes en productos y servicios más sofisticados preservan sus posiciones, mientras los menos desarrollados quedan restringidos a un patrón de producción y exportación crecientemente obsoleto y no competitivo.

Furtado también percibió que el proceso de desnacionalización y de destrucción de la capacidad productiva e innovadora endógena implica pérdida de grados de libertad en la conducción política. Aumenta la subordinación política y económica a los intereses del capital financiero internacional y de los grandes conglomerados multinacionales, creando malestares externos la ampliación de las exportaciones, al desarrollo de la producción nacional y a la capacitación endógena para generar conocimiento e innovación (Tavares y Fiori, 1997; Fiori, 2001).

Al inicio del siglo XXI, el proceso de inserción internacional de Brasil y de América Latina reprodujo el de inicio del siglo XX. En esa “reinserción periférica”, nues-

tros países se especializan en las partes menos complejas de las actividades productivas. Esto incluye principalmente las *commodities* basadas en gran escala de producción, bajo precio unitario y uso intensivo de recursos naturales y energéticos, producidas con tecnologías simplificadas y trabajo repetitivo. La mano de obra involucrada en ese proceso productivo cuesta menos y trabaja en condiciones más precarias, “flexibles”, que no exigen altos niveles de capacitación o conocimiento. Las principales actividades, en estos casos, se concentran en la ejecución, distribución y montaje de productos.

La periferia participa de los flujos de comercio internacional de manera semejante a aquella de un siglo atrás. El centro amplía el dominio sobre las actividades intensivas en conocimiento y creatividad, estratégicas y generadoras de valor.

Es preciso entender el carácter sistémico del proceso de innovación, asociado a las relaciones económicas y tecnológicas entre países en el ámbito de la globalización dominada por las finanzas. Sólo entonces podemos focalizar la inserción de las economías periféricas y el papel de las empresas transnacionales, realizando una discusión más apropiada sobre las razones subyacentes al fracaso de las políticas brasileñas de innovación.

El paquete de políticas de innovación introducido en Brasil es muy semejante al implantado en una serie de países en desarrollo, también con baja eficacia.<sup>13</sup> Diferentes autores señalan el papel de los organismos internacionales de financiamiento en la orientación e imposición de modelos de política

considerados *benchmark*. Reinert (2016) argumenta que, para recibir apoyos, los países pobres deben abstenerse de usar los conocimientos y las políticas que los países ricos usaron y todavía usan. Él reunió varias evidencias de que las políticas económicas ortodoxas no contribuyen al desarrollo de los países, criticando las políticas del Consenso de Washington y de “sus descendientes ligeramente modificados”.

Las medidas de política adoptadas en Brasil, a pesar de orientadas por una convención desarrollista, se encuadran en la perspectiva neoclásica, sometidas a la lógica financiera (Erber, 2011). Otros países en desarrollo se caracterizan por igual subordinación, enfrentando problemas semejantes. La baja eficacia de esas medidas se asocia a una percepción restricta y equivocada del proceso innovador y del papel y las estrategias de sus principales actores.

Además de desconsiderar el carácter sistémico de la innovación, esas medidas sobrestiman el papel de las subsidiarias de las empresas transnacionales, considerándolas como uno de los principales actores del desarrollo tecnológico de los países hospedador. Además de eso, ignoran las transformaciones en la producción global, en especial las nuevas estrategias de esas empresas.

### Conclusión: políticas de innovación y desarrollo, dilemas a ser descifrados

Como argumentamos en este artículo, la estructura industrial instalada en el país no ha conseguido avanzar para internalizar y perfeccionar las capacitaciones productivas e in-

## Innovación no se reduce a actividades de punta. Ella se aplica a todos los segmentos, inclusive los más tradicionales, que en Brasil tienen gran peso en la generación de empleo y renta para la mayoría de la población.

novadoras, volviéndose más capaz de contribuir al desarrollo brasileño.

Hubo innegables sucesos en la consolidación y expansión de la infraestructura brasileña de enseñanza e investigación, particularmente con la creación de nuevas universidades públicas federales en regiones distantes de los centros económicos más importantes y la ampliación significativa de las escuelas técnicas federales. Pero la política industrial y de innovación ha sido incapaz de enfrentar los desafíos traídos por la reorganización global de la producción y por los cambios en las estrategias de los principales agentes del proceso, las grandes empresas multinacionales.

Innovación no se limita a las actividades de punta. Ella se aplica a todos los segmentos, inclusive a los más tradicionales. Es fundamental comprender esto y ampliar la política de innovación, especialmente en el caso de países como Brasil, que posee una estructura productiva heterogénea, desigualdades regionales y sectores tradicionales con gran peso en la generación de empleo y renta. Trabajar con sistemas de innovación exige una nueva mirada so-

bre ese proceso y sobre la realidad específica en foco. Trátase de construir un camino propio y no de buscar un *catch-up* lineal a partir de *benchmarks* de la experiencia de países desarrollados. Un camino que considere la historia, la geopolítica y las condiciones territoriales específicas del país.

Las políticas no pueden limitarse a ofrecer mecanismos e incentivos para las empresas realizar proyectos puntuales de P&D. Las actividades de innovación de las empresas se subordinan a sus estrategias más generales, que existen en el ámbito de los sistemas productivos e innovadores en que ellas están insertadas. Eso exige políticas sistémicas, territorializadas y enfocadas, con perspectiva de largo plazo, capaces de movilizar proyectos cooperativos que den respuesta a los desafíos de la industria y de la sociedad.

Vimos que la estructura industrial brasileña perdió densidad y calidad. Sus encadenamientos intersectoriales se fragilizaron y el contenido importado aumentó, especialmente en los segmentos de mayor intensidad tecnológica y valor adicionado. Esto no resulta apenas por limitaciones de las políticas industriales y tecnológicas explícitas. El ambiente macro-económico nacional perverso, con cambio valorizado, intereses elevados y otras características operaron como poderosa política implícita contraria al esfuerzo productivo e innovador, impactando directamente las decisiones de inversión, sobre todo las de riesgo, como las de innovación y desarrollo tecnológico.

Estas conclusiones realzan la importancia de analizar la influencia

de los escenarios macroeconómicos y del contexto político-institucional sobre las políticas de promoción del desarrollo. Es necesario conocer el modo en que Brasil se inserta en el escenario geopolítico mundial, la orientación dada al desarrollo y las condiciones reales de implementar cualquier política, especialmente para CT&I. El dinamismo de nuestra economía está aún más amenazado por la política de austeridad y por el ajuste fiscal en vigor desde 2015. Hay, todavía, una economía global en crisis, que comenzó en los Estados Unidos, se diseminó y se profundizó a partir de 2008.

Reiteramos el importante legado de los autores que nos ayudaron a comprender la naturaleza de las crisis de la economía mundial y los medios para superarlas. Es preciso reconocer la capacidad de las políticas, públicas y privadas, de apoyar y reorientar los sistemas nacionales de producción e innovación. Freeman (2003, 2007), por ejemplo, siempre afirmó la relevancia de tal capacidad, particularmente en períodos de rupturas y crisis, que él asociaba a cambios de paradigmas tecno-económicos. Para retomar el desarrollo en el siglo XXI, él destacó la necesidad de políticas de regulación y renovación de las capacitaciones productivas e innovadoras, observando los imperativos de inclusión social, disminución de desigualdades y sustentabilidad ambiental. Al inicio del milenio, cuando muchos pregonaban las ventajas del Estado reducido y de las políticas mínimas, él defendía exactamente lo contrario: “La agenda de políticas activas es ampliada, en vez de volverse obsoleta. Esto requiere implantar formas aún más sofisti-

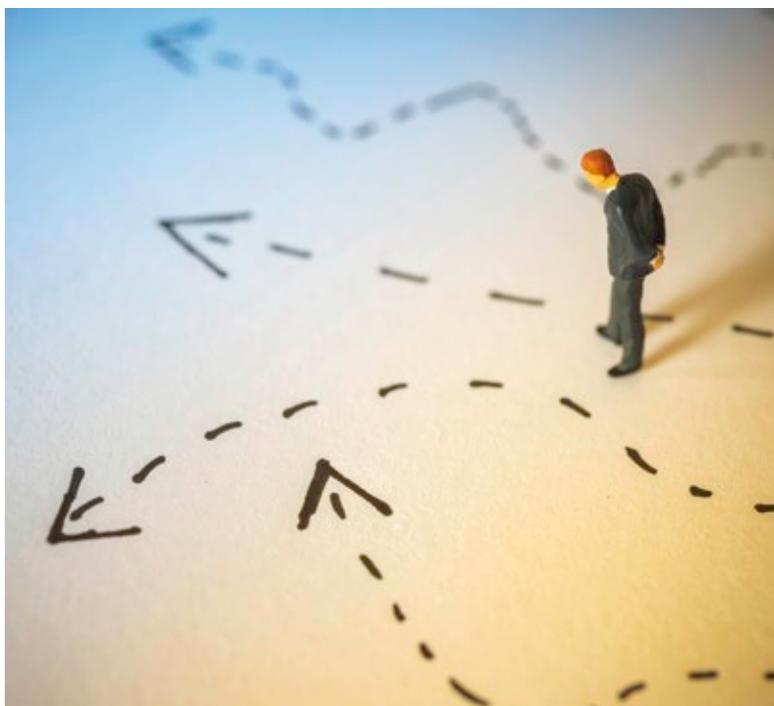
casas para promover el desarrollo industrial y tecnológico, tomando en cuenta las condiciones locales y nacionales, el nuevo patrón de acumulación y las nuevas formas de gobernanza a nivel mundial” (Freeman, 2003).

La crisis global, en curso, tiene aspectos económicos (bajo crecimiento del PIB mundial, paralización del comercio internacional y de la demanda global de la mayoría de bienes y servicios, bajos niveles de inversión), sociales (aumento de la desigualdad y de la pobreza) y, sobre todo, políticas (amenazas al orden democrático y surgimiento de radicalismo de extrema derecha). Ella es agravada por la hegemonía de las políticas de austeridad, acompañadas de aumento del proteccionismo. Todo esto exige una reflexión sobre las posibilidades futuras del desarrollo productivo e innovador en Brasil y de su política de CT&I, que depende de algunos factores básicos. El primero, y más importante, se refiere al establecimiento de una visión estratégica a largo plazo capaz de conseguir consenso y apoyo. Quiere decir, de la definición del proyecto de país que queremos y podemos implementar. El segundo remite a la necesidad de visualizar un desarrollo apropiado, cohesionado y con visión de futuro.

Es urgente definir un proyecto nacional de desarrollo que sea inclusivo, cohesionado y con visión de futuro, que recupere la planificación a largo plazo y su capacidad de considerar la heterogeneidad y las especificidades de las estructuras sociales y económicas brasileñas.

A pesar de la retórica sobre la dimensión sistémica de la innova-

**Un ambiente macroeconómico perverso, con cambio valorizado e intereses elevados, impacta las decisiones de inversión y dificulta el esfuerzo innovador, de gran dimensión, que la economía brasileña necesitaría realizar.**



T. DALLAS/SHUTTERSTOCK.COM

ción, en las últimas décadas la política brasileña de CT&I ha apoyado la aproximación de la universidad con el sector productivo y el soporte al P&D a través de estímulos fiscales y crediticios. Esta concepción, que focaliza tan sólo el tratamiento de fallas de mercado, fue difundida a nivel internacional, con resultados poco expresivos (Cassiolato y Lastres, 2011).

Para el éxito de la política, es necesario no mimetizar las agendas de los países considerados más desarrollados. Es preciso colocar en el centro del debate la contextualización de la política, adecuándola a las especificidades de la sociedad y la economía brasileña y a sus objetivos de desarrollo.

La contextualización de la política significa ecuacionar prioritariamente los principales problemas de nuestra economía y sociedad, buscando hacer converger el desa-

rollo productivo y las acciones de impacto social.

Además de la tendencia a imitar modelos, agendas e instrumentos de política generados en otros contextos, sin adecuarlos, nosotros hemos dissociado los objetivos de la política de CT&I (e industrial) y las necesidades del desarrollo social. Demandas de salud, educación, habitación, transporte, saneamiento y cultura, entre otras, son intensivas en capacitación productiva e innovadora y en nuevas tecnologías que no pueden ser importadas. Son específicas a los diferentes territorios.

La agenda precisa mantener la dimensión social en el centro de sus preocupaciones, movilizándolo y consolidando las nuevas estructuras de enseñanza e investigación tecnológica, dirigidas a problemas locales, como los institutos federales, las nuevas universidades públicas regionales y los centros vocaciona-

les tecnológicos. Estas instituciones ya son aprovechadas, de forma incipiente, en la capacitación tecnológica y en la difusión de conocimientos de C&T, teniendo como objetivo mejorar los acuerdos productivos locales, pero esta preocupación todavía es reducida.

Una gran oportunidad sería estimular el desarrollo de acuerdos productivos e innovadores encaminados a ampliar la calidad y la provisión de los servicios públicos esenciales. La política debería ser orientada, principalmente, para movilizar y fortalecer capacitaciones, actividades y sistemas productivos e innovadores dirigidos a proveer alimentos, salud, educación, habitación (con saneamiento y acceso al agua y la energía), tratamiento de residuos sólidos, cultura, entre otros servicios públicos.

Además de promover mayor integración y fortalecimiento de la

política de desarrollo, las políticas de CT&I deben avanzar en la exploración de la dimensión territorial. Hasta aquí, ellas aún incorporan una visión ultrapasada, desde el punto de vista espacial. Todavía colocan la cuestión regional apenas como un apéndice compensatorio. El enfoque sectorial aún es pensado de forma desterritorializado.

Finalmente, Brasil debería aprovechar las oportunidades resultantes del agotamiento del paradigma productivo basado en la producción y el consumo de masas, intensivo en la exploración de recursos naturales no renovables. Dadas nuestras especificidades, es grande el potencial del

nuevo paradigma que gira en torno de la sustentabilidad. Es preciso elegir prioridades que se relacionen con los grandes desafíos de la sociedad brasileña. La selección de sectores considerados “estratégicos” o “portadores de futuro” debería contemplar, en primer lugar, aquellos de mayor impacto en nuestra economía y sociedad. Además de inaugurar nuevos y adecuados espacios para el desarrollo brasileño, tales propuestas tienen potencial para resolver algunas de sus más graves distorsiones y más apremiantes amenazas: la desindustrialización y la escalada de las importaciones de manufacturas, tecnologías y demás bienes y servicios.

Tal estrategia puede contribuir a invertir la lógica que ha prevalecido en el desarrollo brasileño, revelando, movilizándolo y enraizando potencialidades portadoras de futuro. Este camino está lejos de ser trivial. Sin embargo, es una entre varias posibilidades pensadas por Celso Furtado, sus colegas y seguidores hace mucho tiempo – la de que avancemos en el entendimiento de los dilemas colocados para nuestro desarrollo y perseveremos en descifrar las formas para alcanzarlo. En esta agenda, la contribución del capital extranjero sería, como máximo, marginal. ■

## Notas

1. Ver Cassiolato, 2001.
2. Las tres principales fuentes de financiamiento para las instituciones públicas de ciencia y tecnologías – o FNDCT e los presupuestos del CNPq y de Capes – recibieron en 1985 apenas 40% del montante que fue a ellas designado en 1979 (Bielchowsky, 1985).
3. Coutinho, 2005.
4. Cassiolato, 1992; Cassiolato y Lastres, 2016; Castro et al., 2017.
5. Al inicio de la segunda década del milenio fue introducida, infelizmente de forma tímida, una agenda que destacaba el poder de compra estatal como importante mecanismo de política de innovación. Un pequeño resultado positivo fue alcanzado, en especial en el área de salud, pero la experiencia fue abandonada en 2016.
6. Sobre lo que denominamos la exclusión invisible por parte de conceptos y modelos de política por definición restrictivos, ver Lastres y Cassiolato, 2017.
7. Los datos de la Pintec del período 2000–2015, relativos a las subsidiarias de empresas transnacionales con más de quinientos empleados en sectores intensivos en tecnologías, muestran lo dramático de la situación. En las actividades que más recibieron incentivos fiscales y crediticios (industria automovilística, farmacéutica, de equipamientos de comunicaciones, química y de máquinas y equipamientos), las empresas transnacionales, de hecho, disminuyeron significativamente sus gastos con innovación en Brasil (Cassiolato y Lastres 2016 y Cassiolato, Szapiro y Lastres 2015).
8. Datos del IBGE. Como comparación, entre 2008 y 2010, en los EUA, el peso de las TIC en el PIB general era de aproximadamente 9% y en la Unión Europea oscilan entre 5% y 7% (Cassiolato et al., 2015). La pérdida de los sistemas productivos e innovadores del complejo electrónico (equipamientos de comunicaciones y de informática) puede ser constatado con la observación de que, ya en 2008, aproximadamente 70% de la demanda final brasileña de estos productos era suplida por importaciones. La industria nacional ya difería “muy poco de una típica industria maquiladora” (Morceiro, 2012, p. 190).
9. [https://www.bcb.gov.br/Rex/CensoCE/port/resultados\\_censos.asp?idpai=CAMBIO](https://www.bcb.gov.br/Rex/CensoCE/port/resultados_censos.asp?idpai=CAMBIO)
10. Furtado, 1981. En su libro de 1954, Furtado ya argumentaba que la remuneración de inversiones extranjeras significaba una sangría de recursos que limitaba la posibilidad de reinversión local. La entrada de capitales extranjeros, aún en periodos de gran influencia (1925–1929), no era suficiente para compensar los servicios de los capitales correspondientes, además de agravar el problema de la vulnerabilidad externa, limitando la tasa de inversión posible.
11. La expresión conjunto vacío tiene por referencia una matriz en la que en la vertical consta crecimiento y en la horizontal consta distribución de renta. En América Latina, no hay países que simultáneamente fueran dinámicos y tuvieran buena distribución de renta: este es el conjunto vacío en esta región.
12. A pesar de que un determinado sistema nacional de innovación no esté articulado de forma que genere una dinámica innovadora (y, por tanto, productiva), casi siempre tendrá capacitaciones específicas y activos complementarios que son útiles a la estrategia transnacional global.
13. Scerri y Lastres (2013) y Cassiolato y Vitorino (2010) presentan evidencia en esta dirección para la política de innovación de Brasil, Rusia y África del Sur. Kahn, Melo y Matos (2014) muestran, para los mismos países, las deficiencias e insuficiencias de los mecanismos financieros de apoyo a la innovación.

## Referencias bibliográficas

- BIELCHOWSKY, R. "Situación del apoyo financiero del gobierno federal a la investigación fundamental en Brasil", Rio de Janeiro: Finep, 1985.
- CANO, W. "Desindustrialización en Brasil". *Economía y Sociedad*, v. 21, n. 1, Especial, p. 831-851, 2012.
- CASSIOLATO, J. "The Role of the User-Producer Relations in Innovation and Diffusion of New Technologies: Lessons from Brazil". Tese de Doutorado, SPRU, University of Sussex, Brighton, Reino Unido, 1992.
- CASSIOLATO, J. E. "¿Qué futuro para la industria brasileña?". In: *El futuro de la industria, oportunidades y desafíos: la reflexión de la universidad*. Brasília: MDIC/ IEL Nacional, 2001. p. 9-47.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. (Ed.). *Globalización e innovación localizada: experiencias de sistemas locales en Mercosur*. Brasília: IBICT, 1999.
- \_\_\_\_\_. "Sistemas de innovación y desarrollo: las implicaciones de política". *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 34-45, jan./mar. 2005.
- \_\_\_\_\_. "Introduction". In: CASSIOLATO, J. E.; VITORINO, V. (Ed.). *BRICS and development alternatives: innovation systems and policies*. Londres: Anthem Press, 2011. p. 1-34.
- \_\_\_\_\_. "El desarrollo brasileño en el siglo XXI". In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; LAPLANE, G.; SARTI, F. (orgs). *El futuro del desarrollo: ensayos en homenaje a Luciano Coutinho*. Campinas: Unicamp, 2016. p. 267-309.
- CASSIOLATO, J. E.; SZAPIRO, M.; LASTRES, H. M. M. "Dilemas y perspectivas de la política de innovación". In: BARBOSA, N.; MARCONI, N.; PINHEIRO, M.; CARVALHO, L. *Industria y desarrollo en Brasil*. São Paulo: FGV, 2015. p. 377-416.
- CASSIOLATO, J. E.; ZUCOLOTO, G.; ABROL, D.; LIU, X. *BRICS National Systems of Innovation: Transnational corporations and local development*. Nova Deli: Routledge, 2014.
- CASSIOLATO, J. E.; ZUCOLOTO, G.; TAVARES, J. M. H. "Empresas transnacionales y desarrollo tecnológico brasileño: un análisis a partir de las contribuciones de François Chesnais". In: CASSIOLATO, J. E.; MATOS, M. P. M.; LASTRES, H. M. M. (Ed.) *Desarrollo y mundialización: Brasil y el pensamiento de François Chesnais*. Rio de Janeiro: E-papers, 2014. p. 177-212.
- CASSIOLATO, J. E.; VITORINO, V. (Ed.). *BRICS and development alternatives: innovation systems and policies*. London: Anthem Press, 2011.
- CHESNAIS, F. "La Crise et le dépassement du capitalisme chez Marx". *Cités*, n. 3, p. 115-125, 2014.
- \_\_\_\_\_. "Present international patterns of foreign direct investment; underlying causes and some policy implications for Brazil". In: *The International Standing of Brazil in the 1990s*. Instituto de Economía, Universidad Estadual de Campinas, Campinas, SP, 26-30 mar. 1990. p. 1-49.
- CHESNAIS, F.; SAUVIAT, C. "The financing of innovation-related investment in the contemporary global finance-dominated accumulation regime". In: CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M.; MACIEL, M. L. (Ed.). *Systems of innovation and development: evidence from Brazil*. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 61-118.
- COUTINHO, L. G. "Regímenes macroeconómicos y estrategias de negocios: una política industrial alternativa para Brasil en el siglo XXI". In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; ARROIO, A. (Org.). *Conocimiento, sistemas de innovación y desarrollo*. Rio de Janeiro: UFRJ; Contrapunto, 2005. p. 429-448.
- COUTINHO, L. G.; BELLUZZO, L. G. M. "Desarrollo y estabilización bajo finanzas globalizadas". *Economía y Sociedad*, Campinas, n. 7, p. 129-54, dez. 1996.
- ERBER, F. "Las convenciones de desarrollo en el gobierno Lula: un ensayo de economía política". *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 31, n. 1, p. 31-55, 2011.
- \_\_\_\_\_. "Desarrollo tecnológico e intervención del Estado: una comparación entre la experiencia brasileña y la de los países centrales". *Revista de Administración Pública*, v. 14, n. 4, 1980.
- FAJNZYLBER, F. "Industrialización en América Latina: de la 'Caja Negra' al 'Casillero Vacío': comparación de patrones contemporáneos de industrialización". *Cuadernos de la Cepal*, n. 60. Santiago: Cepal/FAO, 1989.
- FREEMAN, C. 2003. "A hard landing for the 'new economy'?" In CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M.; MACIEL, M. L. *Systems of Innovation and Development: Evidence from Brazil*. Cheltenham: Edward Elgar.
- \_\_\_\_\_. *The Economics of Industrial Innovation*. Londres: Pinter, 1982.
- FIORI, J. L. "Sistema mundial: imperio y pauperización para retomar el pensamiento crítico latinoamericano". In: FIORI, J. L.; MEDEIROS, C. (Org.). *Polarización mundial y crecimiento*. Rio de Janeiro: Voces, 2001. p. 39-76.
- FURTADO, C. "Estado y empresas transnacionales en la industrialización periférica". *Revista de Economía Política*, v. 1, n. 1, jan./mar. 1981.
- \_\_\_\_\_. *El mito del desarrollo económico*. Rio de Janeiro: Paz y Tierra, 1974.
- \_\_\_\_\_. *La economía brasileña: contribución al análisis de su desarrollo*. Rio de Janeiro: La Noche, 1954.
- KAHN, M.; MELO, L.; MATOS, M. G. *BRICS national systems of innovation: the financing of innovation*. Nova Deli: Routledge, 2014.
- LASTRES, H. M. M. "Invisibilidad, injusticia cognitiva y otros desafíos a la comprensión de la economía del conocimiento". In: MACIEL, M. L.; ALBAGLI, S. (Org.) *Información y desarrollo: conocimiento, innovación y apropiación social*. Brasília: IBICT; Unesco, 2007. p. 185-212.
- MORCEIRO, P. *Desindustrialización en la economía brasileña en el período 2000-2011: abordajes e indicadores*. São Paulo: Unesp, 2012.
- SCERRI, M.; LASTRES, H. *BRICS national systems of innovation: the role of the State*. Nova Deli: Routledge. 2013.
- SERFATI, C. "Financial dimensions of transnational corporations, global value chain and technological innovation". *Journal of Innovation Economics*, v. 2, p. 35-61, 2008.
- \_\_\_\_\_. "La Logique financiero-rentière des sociétés transnationales". *European Journal of Economic and Social Systems*, no. 1-2/2011, p. 155-180, 2011.
- TAVARES, M. C. *De la sustitución de importaciones al capitalismo financiero*. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.
- TAVARES, M. C.; FIORI, J. L. (Ed.). *Desajuste global y modernización conservadora*. Rio de Janeiro: Paz y Tierra, 1993.

# La matriz energética brasileña en el horizonte de 2050

Las reservas energéticas brasileñas nos aseguran autosuficiencia. Solamente en fuentes no renovables, en el horizonte ya estudiado, Brasil dispone de reservas superiores a 20 billones de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) para atender a una demanda anual de 600 millones de Tep en 2050. O sea, las reservas de esas fuentes atienden a la demanda por más de treinta años. Pero lo sorprendente es que Brasil tiene un potencial de fuentes renovables superior a 7 billones de Tep, casi diez veces nuestra demanda en 2050.

De acuerdo con el Balance Energético Nacional año-base 2017 (BEN 2018), publicado por la Empresa de Pesquisa Energética (EPE) del Ministerio de Minas y Energía, la oferta interna de energía fue de 293,5 millones de Tep, para un consumo de 260,0 millones de Tep, con pérdidas de 33,5 millones de Tep. Brasil también se destacó en 2017 por la calidad de esa oferta, con 43,2% de fuentes renovables, cuando la media mundial es de 13,7%. En ese año, las principales fuentes renovables fueron biomasa de caña (17,4%), hidráulica (11,9%), leña y carbón vegetal (8,0%), carbonato de sodio y otras (5,8%).

Actualmente, la EPE elabora estudios y coordina debates para construir la nueva matriz energética, teniendo como horizonte el año 2050, denominándolo Plan Energético Nacional (PEN 2050). Los estudios ya disponibles apuntan que en ese año Brasil demandará cerca de 600 millones de Tep en energía.

La nota técnica PR 04/18 de la EPE, Potencial de Recursos Energéticos-2050, recientemente disponibilizada, trae informaciones técnicas importantes sobre nuestra matriz energética. Además de eso, ofrece elementos para definir estrategias y políticas públicas para la explotación de la matriz, a fin de garantizar seguridad energética en la primera mitad del siglo XXI. También ofrece los caminos para ampliar el uso de esos recursos energéticos con el mínimo de agresión al medio ambiente.

Este trabajo se propone ofrecer una síntesis del estudio disponibilizado por la EPE, a través de la NT 04/18. El balance energético en el horizonte 2050, hecho por la EPE, aparece en la Figura 1.



**João Bosco de Almeida**

Ingeniero, ex-presidente de la Compañía Hidroeléctrica de San Francisco, ex-secretario de Infraestructura de Pernambuco y consultor.

Brasil dispone de recursos energéticos en gran escala, más que suficientes para suplir las necesidades de la sociedad, inclusive a largo plazo. Nuestra estrategia de desarrollo debería privilegiar las fuentes renovables. La región Nordeste se puede transformar en gran suministradora de energía para todo el país, pues tiene los mejores vientos, recibe la mayor insolación, cuenta con 3 mil kilómetros de litoral para la construcción de centrales offshore, abriga las mayores reservas de uranio, produce mucha biomasa y tiene áreas propicias para la plantación de bosques energéticos.



Desde el punto de vista de la oferta interna, la matriz energética sintetizada en la Figura 1 ubica a Brasil en un nivel confortable en los próximos treinta años. Considerando la demanda interna estimada en 600 millones de Tep en 2050, las necesidades brasileñas podrían ser atendidas solamente con los recursos no renovables potencialmente disponibles. Más importante: los recursos renovables estimados son diez veces superiores a nuestras necesidades. El desafío que se presenta a los gobiernos y a la sociedad es maximizar el uso de las fuentes renovables en el abastecimiento de nuestras necesidades energéticas, dispensando cada vez más el uso de fuentes contaminantes.

Brasil fue pionero en la sustitución de derivados de petróleo por alcohol de caña de azúcar, al final de la década de 1990. En esa época,

el Pro-alcohol indicó al mundo un importante camino para reducir los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente en el transporte de personas y de mercancías. La industria automovilística se modernizó y produjo la línea de vehículos flex-fuel, hoy predominante. La Ley Brasileña de Residuos Sólidos, en vigor desde 2010, señaló hacia el uso de la biomasa de los residuos urbanos en la generación de energía. Las selvas energéticas, todavía incipientes, ya marcan presencia en Brasil, y la energía de origen eólica y solar comenzó a ocupar importantes espacios en nuestra matriz. Infelizmente, falta al país la definición de una estrategia integrada a largo plazo para el uso de nuestros abundantes recursos energéticos. Esto exigirá un amplio debate que produzca un consenso social que con-

cilie los compromisos con el desarrollo económico y social, de un lado, y la sustentabilidad ambiental, de otro. Conocer nuestras riquezas energéticas es la base para ello.

Brasil intensificó los estudios de inventario de sus recursos energéticos en la segunda mitad del siglo XX, después de crear Petrobrás y Eletrobrás, coordinadas por el Ministerio de Minas y Energía, que también prospectaba los recursos minerales. Las universidades tuvieron un papel decisivo en el soporte para la elaboración de esos estudios.

En la mudanza hacia el siglo XXI, Brasil institucionalizó la planificación energética de manera más robusta con la creación del Consejo Nacional de Política Energética (CNPE, agosto de 1997) y de la Empresa de Pesquisa Energética (EPE, marzo de 2004). En 2007, la

**Figura 1 | Potencial energético brasileño (millones de Tep)**

	FUENTE	2015 - 2050		FUENTE	2015 - 2050	
<b>Renovables</b>	Biomasa	531	<b>No Renovables</b>	Petróleo	9.047	
	Hidráulico	74		Gas Natural	2.926	
	Eólica Onshore	30		Carbón Mineral	7.157	
	Eólica Offshore	1.356		Uranio	2.411	
	PV Onshore	43		<b>SUB-TOTAL 1</b>	<b>21.541</b>	
	Hidrotérmica	57		<b>DEMANDA ESTIMADA EN 2050 = 600Mtep</b>		
	PV Offshre	5.247				
	Oceánico	34				
	<b>SUB-TOTAL 2</b>	<b>7.372</b>				

Observaciones: (1) Incluye los recursos convencionales descubiertos, contingentes y no descubiertos. (2) Incluye los recursos convencionales descubiertos y no descubiertos y los recursos no convencionales. (3) Considera las reservas totales, con una recuperación media de 77% y el poder calorífico de 3.900kcal/kg. (4) Considera las reservas totales y pérdidas de mineración y de beneficiamiento. (5) Considera las áreas con banda de irradiación de 6,0 a 6,2 kwh/m². (6) Considera las áreas con banda de irradiación de 6,5 a 6,8kwh/m².

## La biomasa, los ríos, los vientos, la insolación, el petróleo, el gas natural, el uranio y el carbón mineral son los principales componentes de una matriz energética diversificada y muy generosa.

EPE elaboró el PNE-2030, su primer plan integrado de energía con la mirada a largo plazo, marcando el retorno de la planificación energética nacional. Fue el más importante estudio gubernamental de planificación integrado de energía. De allá para acá, los datos disponibilizados por el PNE-2030 fueron una importante referencia en la elaboración de escenarios para estudios económico-energéticos a largo plazo. Ellos han sido usados en las diversas esferas gubernamentales y en estudios sobre energía producidos por los más diversos sectores de la sociedad. Nacieron las primeras directrices de gobierno, dotadas de sólidos fundamentos, para priorizar el uso de los recursos energéticos brasileños.

El plan resaltó la importancia estratégica de la energía nuclear, colocó la hidroelectricidad como fuente prioritaria para la generación de energía eléctrica, amplió la importancia del gas natural y del etanol en la composición de la matriz energética y destacó el elevado potencial de producción de petróleo y gas natural en tierras y aguas brasileñas.

Entre 2007 y los días actuales hubo cambios: los precios de los energéticos fósiles volvieron a experimentar gran volatilidad, la sociedad impuso severas restricciones al uso de la hidroelectricidad (principalmente en la Amazonia, donde se encuentra el gran potencial aún no explotado), ocurrieron accidentes nucleares por el mundo, la energía eólica y solar se volvió económicamente viable y los combustibles fósiles no convencionales, pero baratos, comenzaron a ser intensamente explotados en los Estados Unidos. Tales eventos demostraron que la planificación energética es un instrumento indispensable para la orientación estratégica de cualquier nación. Es indispensable conocer nuestros recursos energéticos para saber usarlos y preservarlos.

### Nuestra matriz energética

Recientemente, la EPE hizo pública la Nota Técnica PR 04/2018, una referencia para la elaboración del PNE 2050. Ya en la introducción la EPE llama la atención para el hecho de que, a pesar de que tenemos recursos para la autosuficiencia energética y para exportar petróleo, todavía importamos electricidad y combustibles.

#### LA MATRIZ RENOVABLE BIOMASA

Aquí está una de las grandes riquezas brasileñas. La bioenergía deberá alcanzar, en el horizonte del plan, más de 500 millones de Tep, o cerca de 8% de la bioenergía mundial. Su uso viene creciendo rápidamente. En la propuesta que elaboró, la EPE reconoció que la bioenergía, además de contribuir a mejorar la

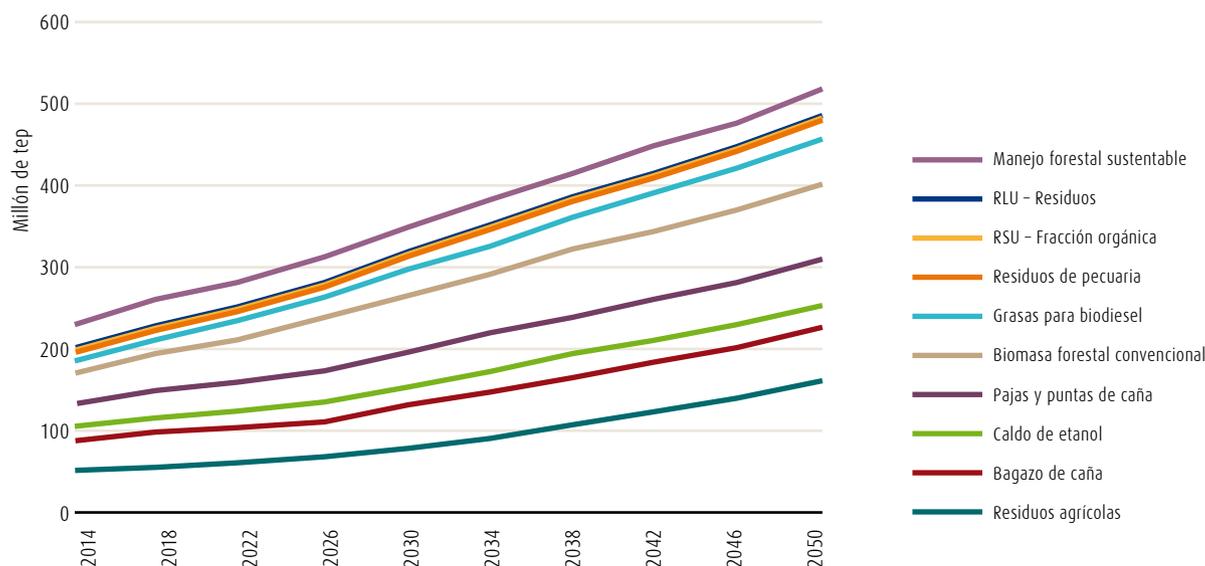
calidad ambiental de la matriz energética, tiene un papel fundamental en el desarrollo rural. En 2014, según el Balance Energético Nacional, la bioenergía representó 25,6% de la oferta interna de energía. Los productos de la caña contribuyeron con 15,7%, los de leña y carbón vegetal con 8,1% y el carbonato de sodio con 1,8%.

Brasil puede producir biomasa en todo su inmenso territorio, tiene condiciones climáticas muy favorables, domina la tecnología de producción con competitividad y dispone de mercado abundante. Además de eso, instituyó políticas nacionales que obligan al tratamiento y destinación adecuadas de residuos. La precaria infraestructura de logística, predominantemente rodoviaria, dificulta la expansión de la producción y del uso de la bioenergía.

A pesar del alto grado de conocimiento tecnológico y de la capacidad operacional para producir biomasa a partir de la caña de azúcar y de bosques, Brasil posee una inmensa cantidad de biomasa aún no explotada adecuadamente, destacándose los residuos agrícolas (como la paja y la punta de la caña de azúcar), grasas para biodiesel, residuos pecuarios, residuos orgánicos de la basura urbana, residuos líquidos del tratamiento de desagües y biomasa de manejo forestal.

Para las proyecciones del plan energético, la EPE estudió detalladamente las áreas disponibles para producir biomasa, incluyendo los costos en cada una de ellas y respetando rigurosamente las áreas con restricción, como tierras indígenas y de negros, áreas de conservación/preservación/reserva legal,

**Figura 2 | Evolución del potencial de bioenergía a largo plazo**



Fuente: EPE

áreas urbanas, pantanales y Amazonia legal, entre otras. El resultado del estudio señaló un área potencial de 144 millones de hectáreas para expansión de la frontera agrícola. Gran parte de ella ya presenta uso humano, clasificado como pecuaria o agropecuaria, o es cubierta por vegetación nativa. Las directrices señaladas para potencializar el uso de la energía de las biomasa representan una valiosa guía para la formulación de políticas públicas en este tema.

La definición de políticas para expandir y explorar la fuente energética de biomasa, fundamental para construir una matriz limpia, debe examinar la compleja malla de interdependencia con otros sectores, como medio ambiente, agricultura y pecuaria, seguridad alimentaria, ocupación de la tierra, desarrollo tecnológico y capacidad de financiamiento, entre otros. Además de muy importante por sí mismo, el aumento de la participación de la

bioenergía en nuestra matriz también genera mucho empleo de mano de obra menos calificada. Las proyecciones del estudio de la EPE pueden ser vistas en la Figura 2.

Cabe destacar las conclusiones de la EPE sobre la bioenergía: “En 2050, el potencial de la biomasa será de 530 millones de Tep. En ese año, la biomasa residual agrícola podrá contribuir con cerca de 165 millones de Tep, representando la principal fuente con potencial para oferta de bioenergía. Sumados, los productos de la caña – bagazo, caldo dedicado para etanol, pajas y puntas de caña – ocupan el segundo lugar y deberán responder por 152 millones de Tep. Además de eso, hay los 17 millones de Tep del biodiesel producido a partir del aceite de dendé en el bioma amazónico, no representados en la figura. Las grasas para biodiesel representan un potencial energético de 56 millones de Tep. Ya la biomasa forestal y los residuos de la pecuaria

(aprovechados en forma de biogás) podrán contribuir con 95 millones de Tep y 28 millones de Tep, respectivamente. El manejo forestal sustentable presenta un potencial de 32 millones de Tep.”

“Brasil ya posee una posición mundial destacada en términos de renovabilidad de la matriz energética. La proyección del potencial de biomasa para fines energéticos indica que hay mucho espacio para avanzar.”

“El desarrollo de las cadenas energéticas basadas en la biomasa puede aumentar significativamente la oferta de energía renovable a través de diversos energéticos, tales como biogás, biometano y leña para generación eléctrica. Además de eso, como la mayor parte del potencial reside en dos grandes grupos, la industria sucroalcolera y la biomasa residual, el desarrollo de ese potencial representa ventajas competitivas interesantes. En el caso de la industria sucroalcolera, la

principal ventaja son los parques productores y los mercados ya instalados. En el caso de la biomasa residual, la ventaja está en el aumento de la productividad económica, pues hay generación de valor a partir de los residuos, así como mitigación de impactos ambientales locales y regionales.”

#### LA MATRIZ RENOVABLE RECURSOS HÍDRICOS

La hidroelectricidad respondía por 16,6% de la producción mundial de energía en 2014. Brasil, segundo mayor país en potencia instalada (89 GW), responde por 8,6% de la capacidad mundial instalada. Además de ser una fuente limpia, renovable y de bajo costo, las hidroeléctricas operan de manera muy flexible y sus reservorios tienen importante papel en la regularización de vaciamientos fluviales. También presentan otras importantes cualidades externas al proyecto de generación de energía. Por otro lado, el uso múltiple de las aguas, cada vez más demandado por la sociedad, viene imponiendo restricciones operativas, principalmente en la última década, cuando hubo sucesivos ruines ciclos hidrológicos.

Brasil todavía tiene grandes potenciales hidroeléctricos para explotar, pero ellos se localizan predominantemente en la región amazónica. Por eso, la sociedad se resiste a la expansión del uso de hidroelectricidad en la matriz. Aún seleccionando por reservorios con tenue corriente de agua, con poca deforestación, existen áreas de preservación ambiental. Las dificultades para implantar nuevos proyectos son cada vez mayores. A esto se suma la necesidad de construir mi-

llares de kilómetros de líneas de transmisión, cruzando aquellas áreas amazónicas. Por esto, la selección de nuevos proyectos para hidroeléctricas necesitará conciliar costos de implantación, beneficios energéticos e impactos socioambientales.

La decisión de construir la hidroeléctrica de Belo Monte provocó gran reacción en Brasil y en otros países. El gobierno fue obligado a revisar el proyecto inicial, reduciendo significativamente el reservorio y, en la misma proporción, la energía asegurada. De inmediato, cuando comenzaron estudios detallados de los aprovechamientos del río Tapajós, nuevos focos de resistencia dieron por resultado grandes atrasos en los proyectos. Aunque eso no haya sido explícito, las entidades responsables por la planificación energética se han alejado cada vez más de la alternativa hidroeléctrica en la región amazónica, donde se encuentra casi todo el potencial no explotado. Se buscan nuevos acuerdos para sacar provecho de este potencial, por ejemplo, evitándose la construcción de reservorios e implantándose hidroeléctricas de punta y reversibles.

Aún ante esas restricciones, en el PNE 2050 la EPE incluyó el potencial hidroeléctrico brasileño en la matriz energética, como no podría dejar de hacerlo.

De acuerdo con el informe de la Eletrobrás de 1994, el potencial hidroeléctrico estimado fue de 261,4 GW, de los cuales 61 GW ya estaban en operación y 10 GW eran para hidroeléctricas de punta. Ya estaban inventariados 98 GW, y 102 GW fue un valor estimado.

En el PNE 2030 (Brasil, 2007b), el potencial de 251 GW era com-

**Entre 2001 y 2017, la capacidad instalada en parques eólicos en el mundo pasó de 23,9 GW para 539,6 GW. Los equipamientos ya funcionan también sobre la superficie de los océanos, ampliándose su radio de acción.**

puesto por el potencial aprovechado hasta entonces (78 GW), por el potencial inventariado (126 GW) y por un potencial estimado (47 GW). Después de la publicación del PNE 2030, parte del potencial inventariado fue construido o está en construcción y parte del potencial estimado fue objeto de estudios de inventario. Nuevos inventarios fueron realizados y otros revisados, aumentando la precisión y la confiabilidad del potencial hidroeléctrico.

Después de la publicación del PNE 2030, fueron realizados por la EPE y aprobados por la Aneel los inventarios hidroeléctricos de los ríos Aripuanã, Araguaia, Branco, Jari, Juruena y Sucunduri, algunos de los mayores ríos brasileños, lo que trajo mayor confiabilidad a las estimativas. Los valores potenciales a ser incorporados al PNE 2050 sólo consideraron los levantamientos de las potencias instaladas de las hidroeléctricas, incluyendo aquellas

con potencia inferior a 30MW, desconsiderándose los potenciales apenas estimados (“Informe de acompañamiento de estudios y proyectos de hidroeléctricas. Situación de 14/07/2017”, Aneel, 2017). El resultado del levantamiento indicó un potencial hidroeléctrico de 176 GW, siendo 108 GW en operación y construcción y 68 GW inventariado (Figura 3).

## LA MATRIZ RENOVABLE ENERGÍA EÓLICA

El uso de la fuerza de los vientos para generar energía eléctrica en gran escala comenzó al final del siglo XX, sea por los avances tecnológicos, sea, principalmente, por los incentivos gubernamentales para reducir las emisiones de gases y atender otras preocupaciones ambientales. Los países que más se destacaron en la implantación de parques eólicos, según GEWC (2018), fueron China (35%), Estados Unidos (17%) y Alemania (10%). Entre 2001 y 2017 la capacidad instalada de campos eólicos en el mundo saltó de 23,9 GW para 539,6 GW, o sea, 22 veces más. La casi totalidad de ese potencial está

**Figura 3 | El potencial hidroeléctrico brasileño**

Etapa	Usina Hidroeléctrica (GW)	UHE P<30MW (GW)	Total (GW)	Participación (%)
En Operación y Construcción	102	6	108	61,36%
Potencial Hid. Inventariado	52	16	68	38,64%
Potencial Hidroeléctrico Brasileño	154	22	176	100%

Fuente: EPE. Observaciones: (1) Considerase apenas 50% de la potencia de Itaipú (hidroeléctrica binacional). (2) Del total de 52 GW de potencial de las UHEs, cerca de 12 GW no presentan interferencia en áreas protegidas (unidades de conservación, tierras indígenas y de negros).

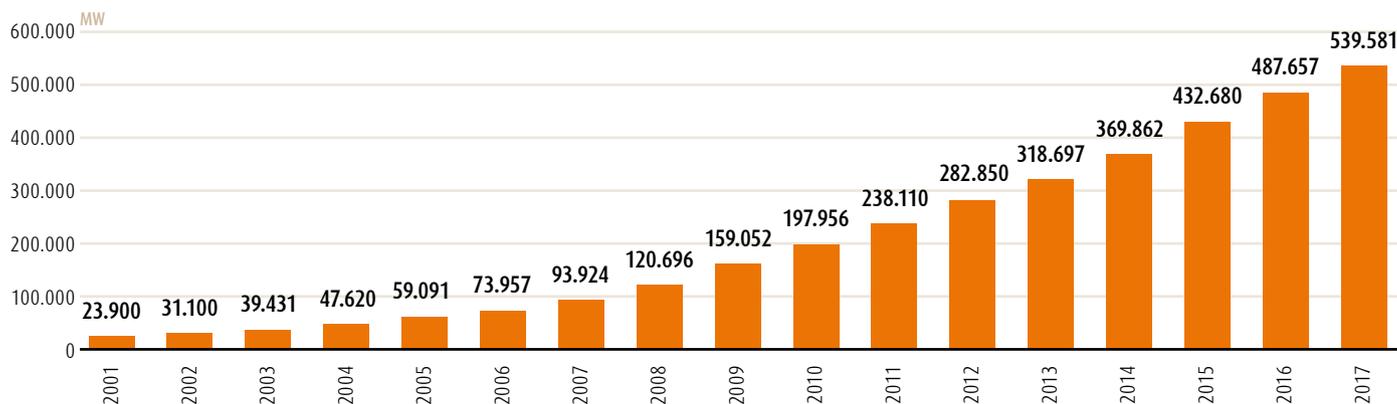
en tierra, pero instalaciones en el mar avanzan rápidamente.

Aún creciendo a ritmo acelerado, la energía eólica representó solamente 4% de la energía generada en el mundo en 2016 (Figura 4).

Los primeros inventarios de energía eólica en Brasil fueron hechos por la Electrobrás y publicados en 1979/1980, constatando la existencia de buenos potenciales en las áreas costeras y en áreas del interior. En 2001 fue elaborado un nuevo *Atlas del potencial eólico brasileño*

(Amarante, 2001), esta vez con mejores recursos de mediación, usando modernos métodos computacionales. Aunque todavía precario a la luz de las técnicas actuales, aquel inventario ya señalaba para 143 GW de potencial eólico instalable en Brasil. Rápidamente, los avances tecnológicos posibilitaron construir aerogeneradores con 100 metros de altura, mientras el Atlas Brasileño había sido hecho con una media de 50 metros. Por tanto, ya se podía asegurar que el potencial eólico se-

**Figura 4 | Evolución de la potencia eólica instalada en el mundo**



Fuente: GWEC (2018).

## Los países pioneros ya retiraron los subsidios de la energía solar, pues ella se consolidó y sus precios cayeron mucho.

ría muy superior a los 143 GW estimados originalmente.

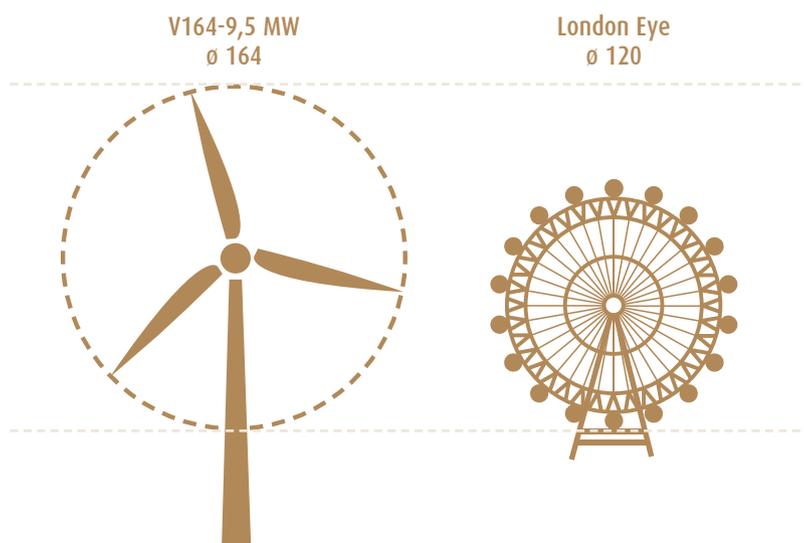
La participación de la eólica en mayor escala en el Sistema Interligado Nacional (SIN) aún enfrenta problemas operacionales, como intermitencia, problemas de infraestructura y restricciones ambientales en áreas de protección.

Adicionalmente a los parques construidos en tierra (*onshore*), avanza en el mundo la construcción en el mar (*offshore*), siendo 18 GW la potencia instalada, con aerogeneradores de hasta 12MW cada uno y rotor de palas giratorias con 220 metros de diámetro. El mayor aerogenerador en operación en el mundo tiene rotor con un diámetro casi dos veces mayor que el diámetro del London Eye.

Brasil todavía está iniciando el aprovechamiento eólico *offshore*, pero ya se sabe que es extraordinario el potencial de esa fuente en el mar. Según estudio de Ortiz y Kampel (2011), ella podría variar entre 57 GW y 1.780 GW.

La experiencia operacional brasileña con parques eólicos aún es pequeña (cinco años), pero los resultados ya alcanzados indican que Brasil, especialmente el Nordeste, es el lugar donde los aerogeneradores presentan los mejores desempeños operacionales en el mundo. Adicionalmente, Brasil tiene una excelente

Figura 5 | Aerogenerador V164, con 9,5 MW



base de generación hidroeléctrica, que es muy eficiente para regular un sistema eléctrico que cuente con fuerte presencia de fuentes intermitentes, como la eólica.

Aún no sabemos cuánta capacidad eólica podremos incluir en el SIN. La experiencia acumulada y la complementariedad de las fuentes solar y eólica apuntan hacia un futuro muy promisorio. El balance final presentado por la EPE indica un potencial para instalación de aproximadamente 60 GW de eólicas en tierra y 2.700 GW en el mar brasileño, un potencial muy superior al de la fuente hidroeléctrica.

### LA MATRIZ RENOVABLE ENERGÍA SOLAR

Aproximadamente la mitad de la energía proveniente del Sol que llega a la Tierra alcanza la superficie, totalizando cerca de 885 millones de TWh/año, más de 8.500 veces el consumo final total de energía en el mundo (IEA, 2011). Esos valores confieren a la fuente solar, considerando sus múltiples usos, el

yor potencial técnico de aprovechamiento frente a otras fuentes renovables (IPCC, 2011).

Los estudios elaborados por la EPE para el PNE 2050 consideraron las aplicaciones derivadas de dos principales formas de capturar la energía del Sol, a través del calor y del efecto fotovoltaico. Ambas permiten que esa energía sea usada para calentamiento y enfriamiento de ambientes, calentamiento de agua, generación fotovoltaica de electricidad y generación heliotérmica.

La explotación de esa fuente, especialmente la aplicación fotovoltaica, creció 44% en el mundo entre 2004 y 2016, alcanzando 303 GW (REN 21, 2017), gracias a generosos subsidios concedidos por países europeos. En la medida en que la tecnología se esparció, los países pioneros retiraron los subsidios, pues ella se había consolidado y los precios habían caído mucho, especialmente en Asia. Solamente en sistemas de calentamiento de agua había una capacidad instalada de 456 GWh en 2016 (REN21, 2017).

La posición geográfica de Brasil propicia elevados índices de incidencia de la radiación solar en casi todo el territorio nacional, inclusive durante el invierno. Aquí, la irradiación media varía de 4.000 a 6.200 kWh/m<sup>2</sup>, lo que convierte al territorio brasileño en uno de los más promisoros para el aprovechamiento de este recurso. Las irradiaciones en el territorio brasileño son superiores a 4.000Wh/m<sup>2</sup>, y en gran parte de él superan los 6.000Wh/m<sup>2</sup>.

Los estudios elaborados por la EPE excluían las áreas de los biomas de la Amazonia y del Pantanal, las tierras con declividad superior a 3% y con dimensiones inferiores a 0,5km<sup>2</sup> y todas las áreas indígenas y de negros, además de la Selva Atlántica con vegetación nativa, de las áreas urbanas y de los ríos. Adicionalmente, para atender otras restricciones legales, la EPE redujo en 20% el área del estudio. Como resultado, fue identificado un área de 960.072km<sup>2</sup> aptos para implantar sistemas fotovoltaicos.

Considerando apenas las áreas humanizadas (cerca de 400.000km<sup>2</sup>) y con irradiación entre 6.000 y 6.200Wh/año, la EPE estimó el potencial de generación de energía eléctrica por fuente solar en 307GW en el pico y 506TWh por año. Como las áreas con irradiación inferior a esas también son muy propicias a la implantación de plantas fotovoltaicas, el potencial antes señalado es apenas un indicativo. Él podrá ser hasta dos veces mayor. Aún con las restricciones antes indicadas, Brasil tiene un potencial diez veces mayor que la potencia instalada en Alemania hasta 2014. Si se compara con la capacidad de

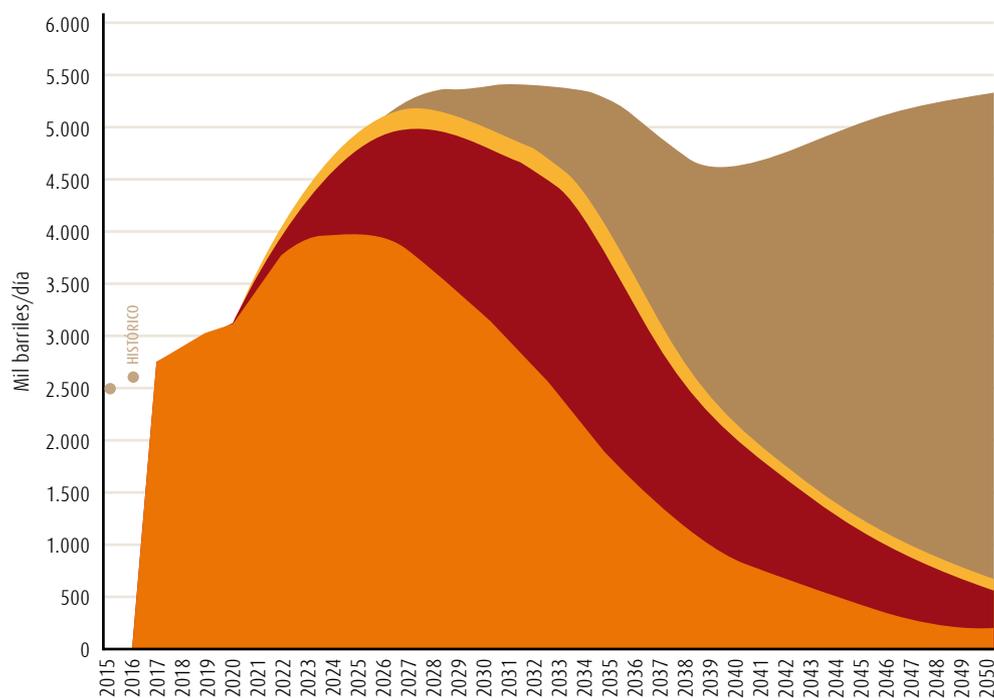
generación de todas las fuentes ya implantadas en Brasil (cerca de 120GW), el potencial solar (*onshore*) representa tres veces más.

Todavía no tomamos en cuenta la posibilidad de generación distribuida, aquella en que el consumidor instala un generador solar en la propia residencia o en las proximidades de ella. La Aneel reglamentó esa posibilidad a través de la Resolución 482/2012, denominándola de generación distribuida. Has-

ta hoy, cerca de 40 mil micros y minigeneradores ya fueron instalados en Brasil, y la previsión es que llegaremos a 1,2 millón hasta 2024.

Estudios recientes, elaborados por la EPE/GIZ, demostraron que las áreas disponibles en las residencias serían suficientes para producir energía, en la forma distribuida, para suplir el equivalente a 2,3 veces el consumo residencial de Brasil en el horizonte del Plan 2050. Actualmente, la generación fotovoltaica

**Figura 6 | Proyecciones de la producción diaria de petróleo en Brasil**



■ Recurso Descubierto   
 ■ Recurso Contingente   
 ■ Recurso No Descubierto Contratado   
 ■ Recurso No Descubierto en el área de la Unión

En millares de barriles por día	2020	2030	2040	2050
Recurso Descubierto	3.108	3.223	920	263
Recurso Contingente	9	1.592	1.152	392
Recurso No Descubierto Contratado	4	179	147	80
Recurso No Descubierto en el área de la Unión	0	391	2.483	4.561
<b>Total</b>	<b>3.121</b>	<b>5.385</b>	<b>4.702</b>	<b>5.296</b>

Fuente: EPE.

distribuída suple apenas 0,45% de la carga residencial de Brasil, estimada en 134.000GWh/año. O sea, para atender todo el consumo residencial precisaríamos instalar cerca de 80.000MW. Tenemos área para suplir el doble de esto. Es fantástico el potencial de crecimiento de esta alternativa.

Recientemente, a través del BNDES, el gobierno liberó una línea de crédito de R\$ 2 billones, inclusive para personas físicas. Esto va a impulsar sobremanera la generación distribuída.

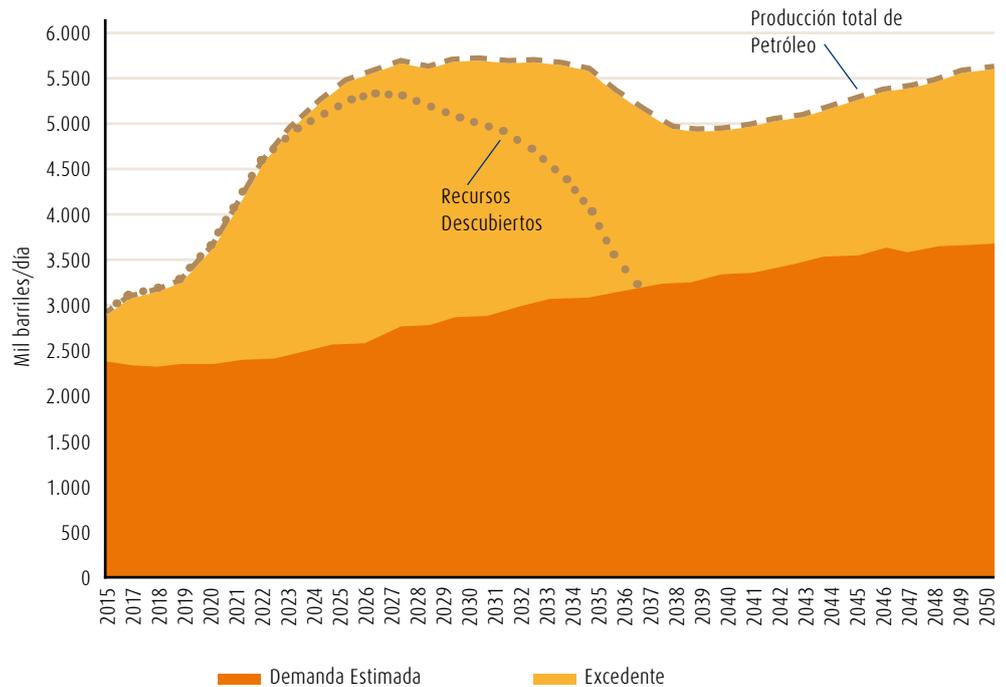
Como si no bastase este enorme potencial en tierra, en la costa brasileña el potencial solar es espectacular. Los datos todavía son precarios, pero la EPE estimó la posibilidad de instalar más de 5.000GW de capacidad, con posibilidad de producir 94.000TWh/año de energía.

Otra aplicación para aprovechar la energía solar son las instalaciones heliotérmicas. Ellas no son tan modulares como las fotovoltaicas y requieren la presencia de infraestructura, disponibilidad de terreno a costos aceptables y proximidad de los centros de carga, entre otros factores. Usando como referencia el trabajo de Burgi (2013), la EPE estimó que el potencial de construcción de instalaciones heliotérmicas en Brasil puede variar de 90GW a 400GW, dependiendo de la tecnología escogida – cilindro parabólico o torre solar.

**MATRIZ NO RENOVABLE  
PETRÓLEO Y GAS NATURAL**

En breve Brasil entrará en el club de los mayores productores mundiales de petróleo. La expectativa de la EPE es que tendremos más petróleo del que necesitaremos pa-

**Figura 7 | Estimativa de demanda y excedente de producción de petróleo convencional en Brasil hasta 2050**



En millares de barriles por día	2020	2030	2040	2050
Demanda Estimada	2.240	2.750	3.190	3.550
Excedente	881	2.635	1.152	1.746
<b>Total</b>	<b>3.121</b>	<b>5.385</b>	<b>4.702</b>	<b>5.296</b>

Fuente: EPE.

ra nuestro consumo futuro, que deberá crecer más de 50% en relación al consumo actual. Aún ante esta previsión confortable, no debemos buscar ampliar nuestro consumo, pues, como vimos, tenemos energía renovable suficiente para las necesidades brasileñas.

La Nota Técnica indica reservas mundiales probadas de 1,7 trillón de barriles, siendo 70% de los países de la Opep. En Brasil, las reservas de petróleo probadas sumaron cerca de 13 billones de barriles, o 0,7% de las reservas mundiales. Nuestras reservas de gas natural sumaron 0,4 trillón de m<sup>3</sup>, o 0,2% de las reservas mundiales.

Teniendo como referencia los descubrimientos y la producción de 2016, las reservas brasileñas atenderían a nuestra producción de petróleo por quince años y a la de gas por once años. Si fueran consideradas las reservas probables, Brasil tendría reservas suficientes de petróleo para 27 años y de producción de gas natural para 21 años, en los niveles de la demanda. En 2050 la producción diaria de petróleo debe alcanzar el doble de la actual, conforme muestra la Figura 6. Con este nivel de producción Brasil dispondrá de expresivo volumen para exportación, como muestra la Figura 7.

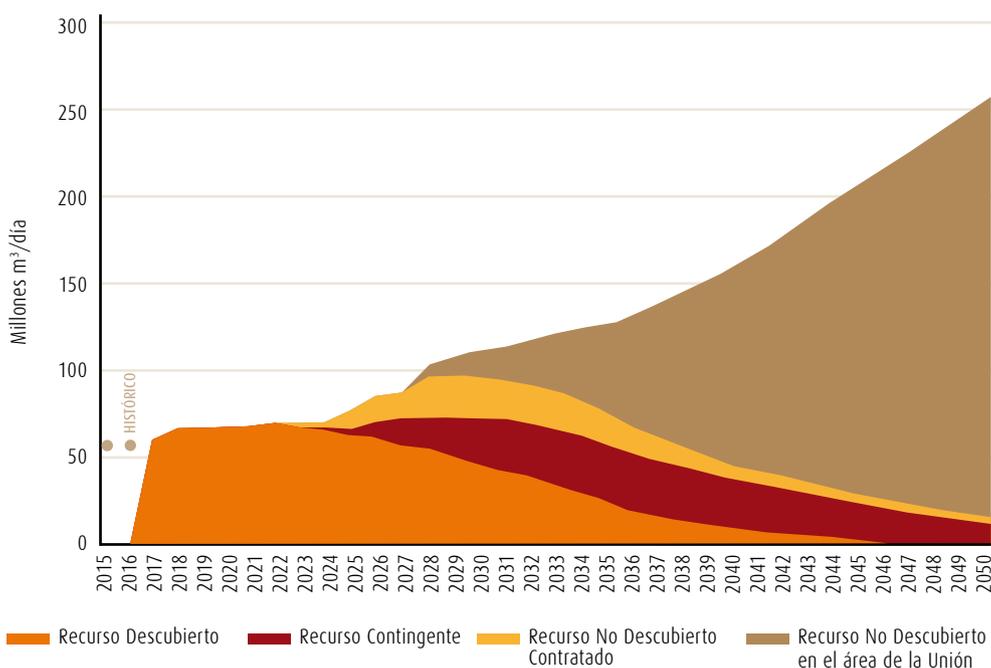
Podremos convertirnos también en un gran productor de gas natural, una fuente bienvenida desde el punto de vista ambiental, si comparada a los demás combustibles fósiles. El desafío es ampliar la producción de gas disociada de la producción de petróleo, de modo que permita estrategias independientes para sus usos, lo que no sucede hoy. La EPE destaca: “Vale destacar las enormes áreas propensas a nuevos descubrimientos de acumulaciones de gas natural no asociado, como en las cuencas de Acre-Madre de Dios, Seal, Solimões, Amazonas, Parnaíba y Paraná.”

Los planes decenales deberán señalar los caminos para desestimular el consumo de derivados del petróleo (oleos pesados, diesel, gasolina etc.), para que ellos sean cada vez más substituídos por gas natural.

Como muestra la Figura 8, si consideramos los recursos aún no descubiertos, nuestra producción de gas natural podría ser hasta cinco veces superior a la actual. Es importante que el país avance en esta dirección. Si fuéramos a despachar fábricas de generación de electricidad a gas en la base, o sea, 24 horas por día, eso crearía un mercado robusto para el gas, permitiendo eliminar las fábricas térmicas movidas por oleo pesado o por diesel.

Al valorar los recursos energéticos de las fuentes petróleo y gas, la EPE no incluyó la explotación de las fuentes llamadas no convencionales. Los Estados Unidos comenzaron a explotar esos recursos, a punto de desequilibrar el mercado mundial, pero las autoridades brasileñas entienden que todavía

**Figura 8 |** Proyecciones de la producción diaria (potencial líquido) de gas natural potencial en Brasil



En millares de m³ por día	2020	2030	2040	2050
Recurso Descubierto	68,1	47,6	11,3	2,2
Recurso Contingente	0,1	24,4	27,4	13,1
Recurso No Descubierto Contratado	0,1	25,6	9,3	2,3
Recurso No Descubierto en el área de la Unión	0	17,2	108,8	238,7
<b>Total</b>	<b>68,3</b>	<b>114,8</b>	<b>156,8</b>	<b>256,3</b>

Fuente: EPE.

es temprano para seguir este camino, pues los riesgos ambientales son altísimos. Fue una opción correcta, que no impide un nuevo examen de la cuestión si hubiera una evolución tecnológica que lo justifique.

Brasil tiene abundancia de petróleo y gas natural convencional. El gran desafío es cómo explotar estos recursos con el mínimo impacto ambiental. En su estudio, la EPE concluyó que, aún introduciendo las restricciones socioambientales, la expectativa de producción y demanda de petróleo y derivados no será significativa-

**Brasil debe desarrollar competencias en todas las etapas de la industria nuclear, incluyendo la fabricación de los equipamientos.**

mente reducida. Esto debe ser profundizado en los debates para la elaboración del plan.

Según la EPE, los criterios socioambientales adoptados incorporaron las directrices de los órganos ambientales y de la agencia reguladora, además de descartar áreas de alta sensibilidad ambiental. Fueron excluidas las unidades de conservación, áreas de protección ambiental y reserva de desarrollo sustentable, tierras indígenas y ocupadas por remanentes de palenques, áreas urbanas y áreas de especificidad marina, como pez-buey, tonina, la ballena-de-bryde.

Aún así, la sociedad debe revisar las directrices de esos órganos ambientales, en especial del Ibama, para unidades de conservación y sus zonas de debilitamiento, tierras indígenas y áreas prioritarias para conservación, uso sustentable y repartición de beneficios de la biodiversidad brasileña.

#### MATRIZ NO RENOVABLE URANIO

El uranio es un energético muy importante para el mundo, a despecho de los riesgos inherentes a su uso. Hasta hoy ocurrieron pocos accidentes en instalaciones que usan el uranio como energético, pero las consecuencias, en cada caso, fueron muy graves. Por eso, la incorporación de la energía nuclear en la matriz energética mundial causa polémicas. El uso más intensivo de este energético es la generación de energía eléctrica. En el mundo, existen actualmente cerca de 375.000MW (World Energy Outlook) producidos por reactores nucleares en operación. Esto representa más

de tres veces la capacidad de generación de energía eléctrica implantada en Brasil.

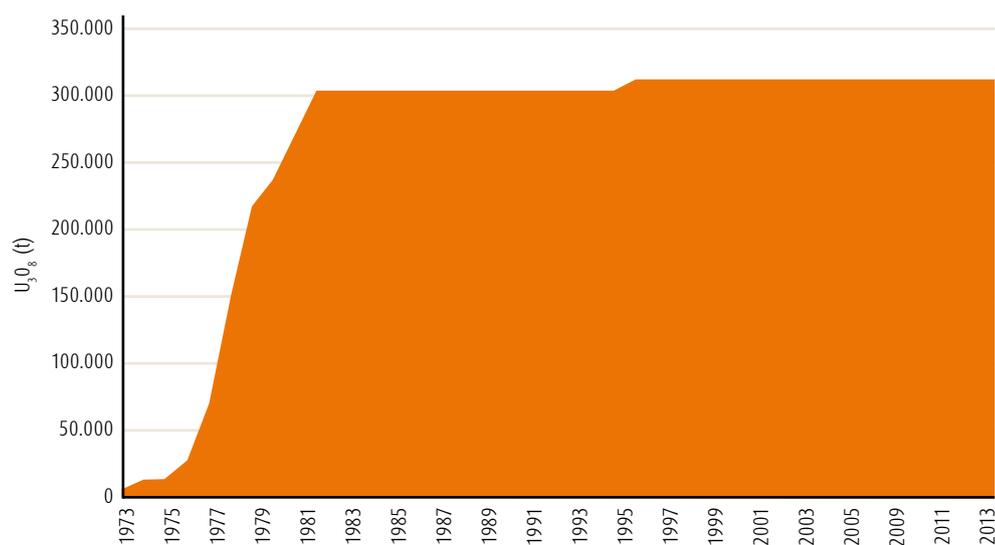
El debate en cuestión es en cuanto al uso o no de esta fuente para generación de energía eléctrica en Brasil, un país que posee cerca de 5% de las reservas mundiales de uranio y es el décimo cuarto en la producción mundial. En las directrices estratégicas conjuntas de los ministerios de Medio Ambiente, Minas y Energía, de Desarrollo, Industria y Comercio, de Ciencia, Tecnología e Innovación y de Defensa, incluidas en el Programa Nuclear Brasileño, Brasil debe consolidarse como importante fabricante de combustible nuclear, a fin de desarrollar competencia en todas las etapas, desde la fabricación de equipamientos hasta la producción de elementos combustibles, a través de la Nuclebrás. El plan defiende un gran esfuerzo para fortalecer la regulación de este sector en Brasil.

Brasil está en el selecto grupo de países, que incluye Estados Unidos y Rusia, que domina todo el ciclo del combustible y posee reservas para atender su propia demanda. Nuestro primer reactor multipropósito deberá entrar en operación en los próximos meses, con capacidad de 30MW. El Ministerio de Defensa aprobó la Estrategia Nacional de Defensa, que considera decisivos tres sectores – el cibernético, el espacial y el nuclear –, reafirma la necesidad estratégica de dominar la tecnología nuclear y ratifica la adhesión de Brasil al Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares.

El uranio debe, pues, ser considerado en nuestra matriz energética, para que podamos avanzar en las áreas de la agricultura, salud, generación de energía y propulsión nuclear, entre otras.

Como muestra la Figura 9, Brasil desarrolló investigaciones en apenas 25% de su territorio e iden-

**Figura 9 | Evolución de las reservas brasileñas de uranio (toneladas de  $U_3O_8$ )**



Fuente: Elaboración propia, a partir de EPE (2015).

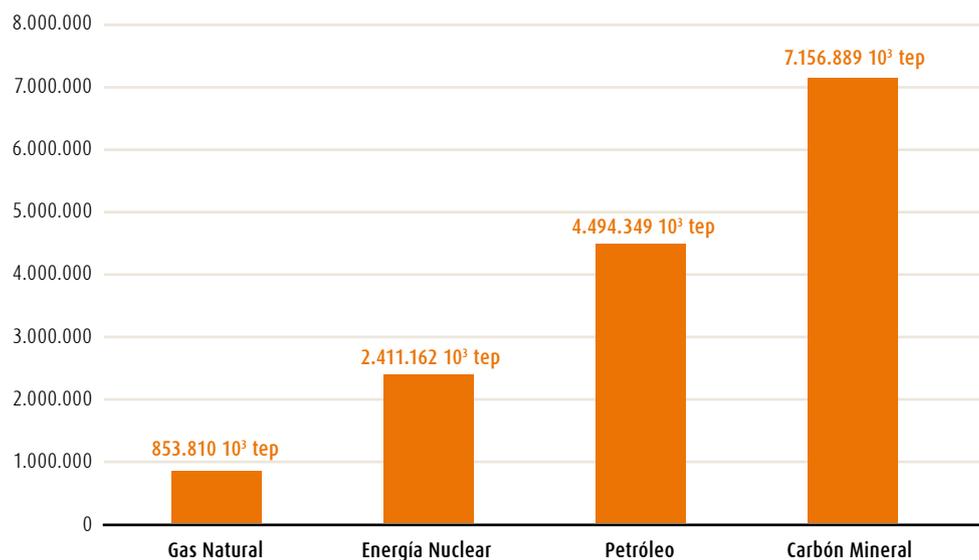
tificó reservas de 309 mil toneladas de uranio, equivalentes a 2,9 billones de Tep.

La Electronuclear opera dos estaciones nucleares, Angra I y II, y está construyendo Angra III, que duplicará nuestra capacidad de generar energía eléctrica a partir de uranio. El Nordeste abriga las mayores reservas conocidas de uranio de Brasil, y allí fueron identificados por la Electronuclear los mejores locales para implantar futuros proyectos de generación de energía eléctrica a partir de uranio. Este aspecto es relevante para el PNE 2050, pues la expansión del parque de generación nuclear en el Nordeste sería un importante factor más de desarrollo regional, en adición a los parques eólicos y solares. Para este nuevo plan, la EPE propone la construcción de nueve centrales nucleares más, cada una con 1.000MW. Según la Electronuclear, ellas deberían ser construídas en el Nordeste.

Al incluir la energía nuclear en la matriz energética brasileña debemos considerar otros aspectos: costos, riesgos, destinación de los desechos y regulación. La energía producida por esas centrales tiene bajos costos, cuando es comparada con otras fuentes. Un kilo de uranio produce el equivalente a 20.000kg de carbón mineral. Los riesgos y la destinación de los desechos están siendo resueltos con nuevas tecnologías ya disponibles. Actualmente, cerca de 30% del uranio procesado en el mundo ya es reciclado.

La cuestión de la regulación está en discusión en el Congreso Nacional desde 2006, cuando fue presentado el informe del Grupo de Trabajo de Fiscalización y Seguridad Nuclear recomendando la creación

**Figura 10 | Principales reservas energéticas brasileñas no renovables (en millares de toneladas equivalentes de petróleo)**



NOTA: CALCULADO SOBRE LAS RESERVAS TOTALES. PARA EL CARBÓN MINERAL SE CONSIDERÓ UNA RECUPERACIÓN DE 70% Y UN PODER CALORÍFICO DE 3.900KCAL/KG. PARA EL URANIO SE CONSIDERAN PÉRDIDAS DE EXPLOTACIÓN Y BENEFICIAMIENTO. NO FUE CONSIDERADO EL RECICLAJE EN PLUTONIO O EL URANIO RESIDUAL.

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, EPE.

de una comisión en el ámbito de la Presidencia de la República, que se encargaría de las funciones normativas, licenciadoras y fiscalizadoras ejercidas por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN).

### MATRIZ NO RENOVABLE CARBÓN MINERAL

A pesar de los avances tecnológicos alcanzados hasta aquí, el mundo continúa muy dependiente del uso de combustibles fósiles para generar energía eléctrica y realizar algunas actividades industriales. Más del 40% de la energía generada tiene como fuente el carbón mineral, una de las fuentes más contaminante. Según publicación de la OECD/IEA (2014), el mundo continuará con demanda creciente de carbón a tasas de 0,5% al año, considerada pequeña, pero que debería estar decreciendo. El cuadro ya fue peor,

con un crecimiento de 2,5% al año en los últimos treinta años. Por razones de naturaleza económica, muchos países insisten en explotar intensivamente este recurso energético que provoca graves problemas ambientales. El sector eléctrico responde por 74% de las emisiones de efecto invernadero en el mundo, principalmente por el intensivo uso de carbón mineral.

Las reservas brasileñas de carbón mineral son equivalentes a la suma de las reservas de petróleo, gas natural y uranio. Esta grandiosidad sugiere que Brasil debe tener una mirada estratégica y cuidadosa. Los costos y los riesgos ambientales imponen riguroso control sobre los usos de esta fuente, reservándola para sectores donde ella no pueda ser substituída. Aún frente a estas restricciones, Brasil tiene un parque generador de 3,5GW (Aneel, 2015),

localizado predominantemente en la región Sur, donde están los principales depósitos. Consumimos anualmente cerca de 10 millones de toneladas de carbón. Dada la disponibilidad de otras fuentes, poco contaminantes y renovables, ese parque generador podría haberse evitado. Él surgió más por demandas políticas regionales, con la perspectiva de implantar una cadena productiva a partir del carbón, que propiamente por elección del sector eléctrico. Debemos aguardar nuevas tecnologías, más limpias y competitivas, como la gasificación, así como la consolidación de los polos carboquímicos, para que la explotación del carbón sea hecha en términos menos agresivos al ambiente (Figura 10).

Aunque con restricciones ambientales, de costos de producción y de la baja calidad del carbón nacional, entre otras, la EPE todavía incluye en el horizonte del PNE la expectativa de construcción de cerca de 46 instalaciones, cada una con 500MW. Ciertamente, sin embargo, en la elaboración de los planes decenales, la construcción de estas instalaciones sería postergada hasta que las condiciones restrictivas citadas estuvieran adecuadamente mitigadas.

Con amplia diversidad de fuentes energéticas, Brasil no debería incluir en su matriz energética oficial la posibilidad de uso de carbón mineral, excepto donde la interrupción de su uso provoque grandes impactos sociales. Por esto, el PNE 2050 debería recomendar metas de eliminación del uso del carbón, principalmente en las fábricas más antiguas, construídas para generar energía eléctrica, pues el gas natural

y la energía eólica (que cuenta con buenos sitios en la región Sur) lo substituyen de forma competitiva.

### Conclusión

Como se vió, Brasil es privilegiado en lo que respecta a la disponibilidad interna de recursos energéticos. Si no fueran las restricciones de naturaleza tecnológica, el país podría atender todas sus necesidades con fuentes renovables. Por otro lado, la historia muestra que el desarrollo económico mundial se logró sin ningún celo por los recursos naturales. Cuando se inventó el motor a combustión, con petróleo fácilmente disponible, el mundo entero corrió en busca de ese camino, sin tomar en consideración que algún día la contaminación causaría serios problemas ambientales.

Cuando las investigaciones científicas comenzaron a demostrar que los humanos estaban sobrecargando la capacidad de recuperación de la naturaleza y la temperatura del planeta estaba alcanzando niveles críticos, la sociedad fue tomando conciencia de que algo debía hacerse para contener los usos abusivos y descontrolados de los recursos naturales. Varias iniciativas fueron adoptadas. Gracias a ellas, todavía podremos corregir los errores del pasado. Los mejores ejemplos son el uso, cada vez mayor, de la energía de los vientos, del Sol y de la biomasa. Grandes cambios ya están en curso para substituir el uso de vehículos movidos por combustibles fósiles por vehículos eléctricos, con energía de fuentes alternativas y renovables.

## Los costos y los riesgos ambientales imponen riguroso control sobre los usos del carbón mineral, reservándolo para actividades en que no pueda ser sustituido.

Hasta hoy, el hombre buscó alternativas para producir desarrollo económico, independientemente del recurso energético que precisaría usar. A partir de ahora, las estrategias de desarrollo deberán mirar para la matriz energética mundial y, a partir de ella, orientar el desarrollo.

En Brasil, como vimos, las estrategias de desarrollo deberían orientar a la sociedad a usar fuentes renovables. En el Nordeste, una región con gran pobreza y extensas áreas casi desérticas, el semiárido podría transformarse en gran generador de energía. Allí están los mejores vientos y la mayor insolación del país, 3.000km de litoral para construcción de parques solares y eólicos *offshore*, las mayores reservas de uranio, 40 millones de personas produciendo biomasa de desechos y áreas propicias para bosques energéticos.

En la década de 1960 se decidió que el desarrollo del Nordeste brasileño sería hecho con industrialización. Hoy, el gobierno podría orientar sus políticas para que el Nordeste sea el principal suministrador de energía para Brasil a partir de fuentes renovables. ■

# La gobernanza de la CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Industrias, modelos de negocios, profesiones e instituciones serán cada vez más afectados por una nueva ola, en curso, de renovaciones tecnológicas. El mercado de trabajo y la actuación de los gobiernos serán fuertemente impactados por la convergencia de innovaciones digitales, biológicas y físicas. Profesiones tradicionales tienden a desaparecer, dando lugar a actividades nuevas. Al lado de sus aspectos positivos, este proceso también trae riesgos para la cohesión de las sociedades, lo que exige una postura proactiva de todos los agentes involucrados.



## **Guido Bertucci**

Ex-director del Programa de las Naciones Unidas de Administración Pública y Desarrollo, donde creó la Red de Administración Pública de las Naciones Unidas, y director-ejecutivo de la organización Governance Solutions Internacional.

**Traducción Vera Ribeiro**



## Introducción

¿Estamos en medio de una Cuarta Revolución Industrial? Klaus Schwab, presidente del Fórum Económico Mundial, escribió extensamente sobre el asunto. He aquí lo que dice: “Estamos asistiendo a cambios profundos en todas las industrias, marcadas por el surgimiento de nuevos modelos de negocios, por la inestabilidad en los cargos y por la reformulación de los sistemas de producción, consumo, transporte y entrega. En el frente social, está en curso un cambio de paradigma en la manera en que trabajamos y nos comunicamos. Gobiernos e instituciones están siendo igualmente re-

formulados, así como sistemas de enseñanza, salud y transporte, entre muchos otros.”

Está claro que esos cambios y tendencias están ocurriendo. Es irrelevante que usemos el rótulo de Cuarta Revolución Industrial o que los describamos como una sucesión natural de la Tercera Revolución Industrial. En aras de la brevedad y de la coherencia, trataré de ellas, en este artículo, como “4RI”.

Lo importante es identificar los efectos que ellos tienen en la sociedad, en los negocios y en la gobernanza y tomar las decisiones de políticas públicas necesarias para garantizar que recojamos los efectos positivos y minimicemos los negativos.

El diagrama abajo, producido por el Fórum Económico Mundial, intenta describir el alcance de los cambios introducidos por la 4RI.

Los cambios sin precedentes introducidos por la 4RI consisten en el hecho de que estamos asistiendo no sólo a cambios tecnológicos, sino también a cambios sistémicos y a una intersección e interdependencia de diferentes tecnologías (Schwab, 2016).

Impulsada por la convergencia de innovaciones digitales, biológicas y físicas, la 4RI afecta los modelos de negocios, modifica los patrones de producción y consumo, altera la manera como los individuos interactúan entre sí y con los

gobiernos. Así, produce una profunda transformación de la sociedad (Schwab, 2016).

Hemos visto que tecnologías como la computación cuántica, la internet de las cosas, la impresión en 3D, el big data, las cadenas de bloques de datos [blockchains], el aprendizaje de las máquinas y la economía bajo demanda vienen obteniendo un progreso exponencial, perturbando industrias, negocios, profesiones e instituciones (Klugman, 2018).

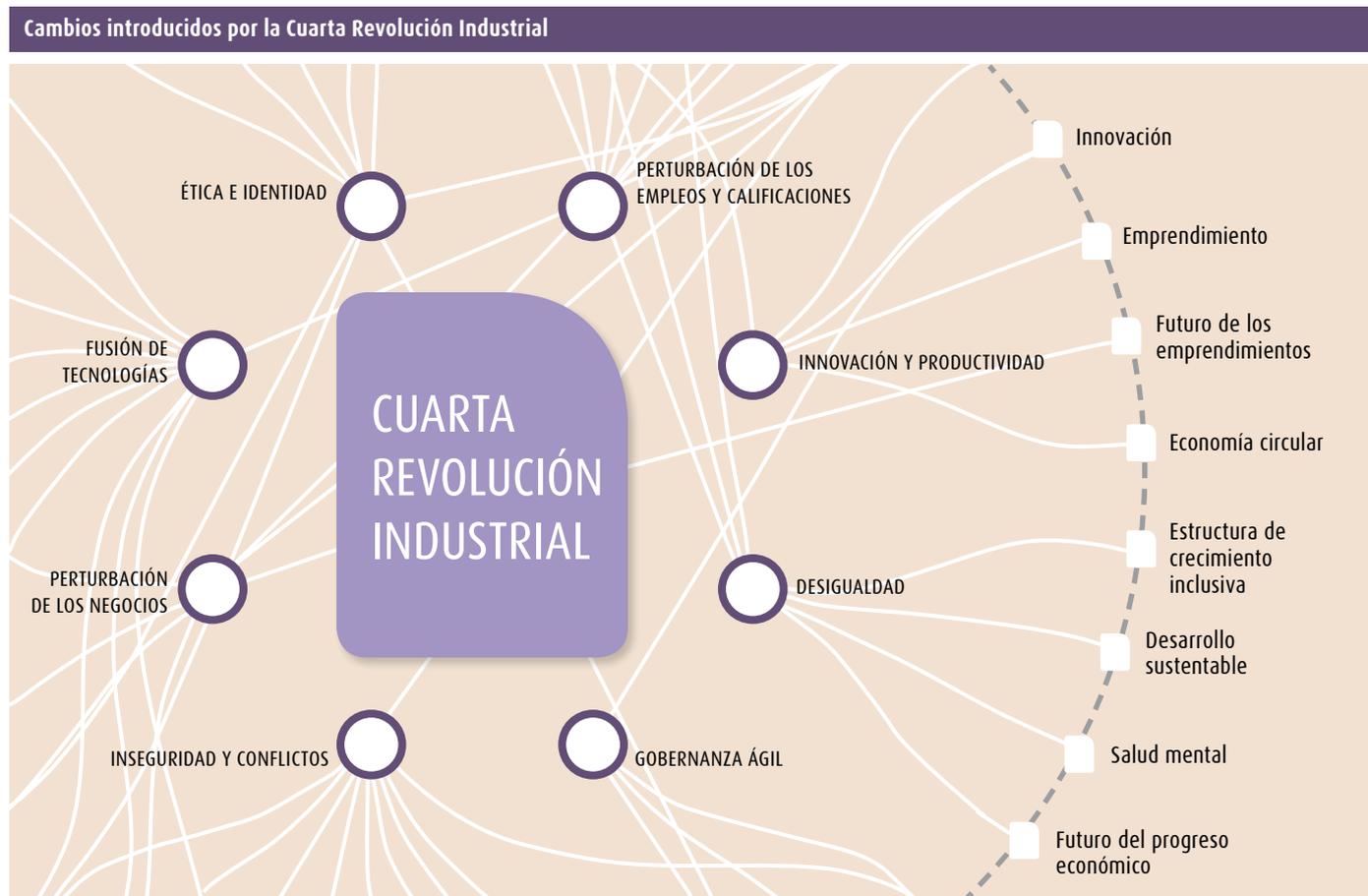
La 4RI también ha causado rupturas de los modelos políticos, sociales y económicos, creando un “sistema distribuido de poder”. Él exigirá que las partes interesadas in-

teractúen de manera más integrada y colaborativa (Schwab, 2016).

Las modalidades de funcionamiento de los gobiernos, su papel y sus modos de interactuar con los ciudadanos serán seriamente desafiados por los avances de la 4RI.

Dado el ritmo acelerado de los cambios, es difícil proyectar plenamente cuáles serán las consecuencias positivas de la 4RI. Muchos analistas prevén que ella aumentará la competitividad y creará una economía abierta, flexible y fundamentada en las calificaciones (Lye, 2017), además de optimizar la eficiencia.

Ella también tiene potencial para aumentar el nivel de renta y me-



Fuente: Fórum Económico Mundial

jorar la vida de las personas. Los consumidores tendrán acceso cada vez mayor a productos y servicios nuevos y más baratos (Schwab, 2016).

Las nuevas tecnologías han acelerado el desarrollo de la enseñanza, mejorado el acceso a la información y dado voz a los ciudadanos. Sectores como medicina, salud, transportes, producción de energía y protección ambiental serán positivamente afectados.

Pero los analistas también identifican que la 4RI puede producir consecuencias negativas muy graves. Se espera que el mercado de trabajo sufra los efectos negativos más fuertes, con la desaparición de ocupaciones tradicionales y la difusión de ocupaciones que requieran nuevas habilidades.

Un estudio hecho recientemente por la McKinsey & Company imagina que las tecnologías existentes ya pueden sustituir la mitad del tiempo gastado por los trabajadores en sus actividades profesionales. Ese fenómeno ha creado una clase de trabajadores sin derechos, lo que ya interfiere en el resultado electoral en varios países.

Aunque las nuevas tecnologías optimicen el acceso a la información, ellas también pueden minar nuestra privacidad, pues el acceso a los datos queda más fácilmente disponible para empresas, gobiernos y hasta para otros individuos.

Y, como el acceso a la tecnología es esencial para que se recojan los beneficios de la 4RI, aquellos que disponen de acceso limitado a Internet y los que poseen conocimientos y habilidades obsoletos quedarán imposibilitados de beneficiarse de los avances. Las desigualdades económicas, sociales y de po-

der pueden aumentar, tanto dentro de los países como entre ellos.

También aumentará el peligro del uso de tecnologías avanzadas para fines nocivos, como producción de armas, crímenes cibernéticos, discursos de odio, diseminación de noticias falsas [fake news] y comportamientos similares.

Considerando la velocidad y el alcance de esos cambios, la mayoría de los especialistas defiende con vigor un abordaje proactivo por parte de todos los agentes afectados – gobiernos, empresas y la sociedad civil: “Tenemos que vencer esta carrera entre el poder creciente de la tecnología y el saber creciente con que la administramos. No conviene aprender con los errores” (Max Tegmark, Life 3.0).

En las secciones siguientes, analizaré cómo las empresas, la sociedad civil y los gobiernos están siendo afectados por la 4RI, con énfasis particular en la gobernanza. También examinaré brevemente las consecuencias para los sistemas globales de gobernanza.

## Empresas

Los avances tecnológicos vienen causando una perturbación que aumenta exponencialmente en las industrias existentes. Además de eso, ha aumentado la competencia, al suministrar plataformas digitales para desarrollar, comercializar y distribuir productos (Schwab, 2016). Nuevos servicios son constantemente desarrollados y ofrecidos a los consumidores.

El profesor Schwab resumió los cuatro efectos principales de la 4RI en el mundo empresarial, destacando los que inciden sobre las expec-

**Para mantenerse relevantes y lucrativas, las empresas necesitan reinventarse constantemente, de manera que se hagan más flexibles y abiertas a la innovación.**

tativas de los consumidores, sobre la mejoría de los productos, sobre las innovaciones colaborativas y sobre las formas organizacionales

Cambia el lado de la oferta (de las empresas), pero testimoniamos también cambios en el lado de la demanda, con el surgimiento de nuevas plataformas que combinan demanda y oferta, en especial con la tecnología de los smartphones (Rao, Srinagesh y Sreedhar, 2017).

El despuntar de una nueva competencia, innovadora y ágil, fuerza a las empresas a volverse más flexibles y a reinventarse constantemente, para mantenerse relevantes y lucrativas. Los lazos entre la ciencia y los negocios necesitan ser fortalecidos, en la medida en que crecen las aplicaciones comerciales de la inteligencia artificial y de la robótica.

El efecto más perturbador de la 4RI en las empresas y en la sociedad en general, como ya mencioné, es la transformación del mercado de trabajo, pues nuevas calificaciones se hacen necesarias y otras que-

## La confianza popular en las instituciones tiende a decaer, abriendo espacios para un populismo antigubernamental en algunos países. Los ciudadanos van a interactuar más con los gobiernos, exigiendo servicios mejores y más rápidos.

darán obsoletas. De acuerdo con Marc R. Benioff, presidente y ejecutivo-jefe de la Salesforce, sólo en los Estados Unidos existen más de 500 mil plazas para empleos en tecnología, pero apenas 50 mil alumnos de ciencias se forman por año en las universidades. Millones de puestos de trabajo necesitan ser ocupados en informática, matemática e ingeniería. Al mismo tiempo, según el Fórum Económico Mundial, los cargos administrativos y burocráticos sufrirán una drástica reducción. Algunas áreas geográficas van a sufrir declino y perturbaciones económicas y sociales, con la desaparición de empleos.

Las empresas necesitan preparar de modo proactivo una nueva fuerza de trabajo, como destacó un informe conjunto de la Deloitte y de la Global Business Coalition for Education [Coalición

Global de Empresas por la Educación], titulado “Preparando la fuerza de trabajo del futuro para la Cuarta Revolución Industrial”. Según ese informe, “la empresa debe asumir un papel más proactivo en la preparación de los jóvenes de hoy, para garantizar que ellos estén listos para ser la fuerza de trabajo de mañana”. El informe recomienda que las empresas, entre otras cosas, “se comprometan estratégicamente en la política pública, desarrollen estrategias promisorias en relación al talento e inviertan en la formación de la fuerza de trabajo”.

Los líderes empresariales deben ser estimulados a aliarse a las instituciones de enseñanza, inclusive aportando asistencia financiera a programas de educación y entrenamiento necesarios a la fuerza de trabajo del futuro.

### Sociedad civil

Como vimos, la 4RI provocará transformaciones en la fuerza de trabajo, con efectos negativos en la cohesión social y el declino en la confianza popular, abriendo espacios para un populismo antigubernamental en algunos países (Klugman, 2018). Los gobiernos, en cooperación con el sector privado, serán responsables por reconstruir la fe y la confianza por medio de políticas apropiadas, teniendo como fin disminuir esos efectos destructivos.

Acostumbrados a obtener los beneficios de las nuevas tecnologías cuando reciben servicios de las empresas, los ciudadanos exigirán de los gobiernos, cada vez más, servicios mejores y más rápidos.

En el lado positivo, las nuevas tecnologías proporcionan a los ciudadanos mejores oportunidades para interactuar con el gobierno, expresar sus opiniones y vincularse en el desarrollo y la implementación de políticas públicas.

### Gobiernos

El advenimiento de la 4RI crea enormes desafíos para los gobiernos y para los sistemas e instituciones de gobernanza. La respuesta de los gobiernos determinará si países y sociedades estarán aptos para obtener los beneficios de ella y para minimizar sus efectos negativos.

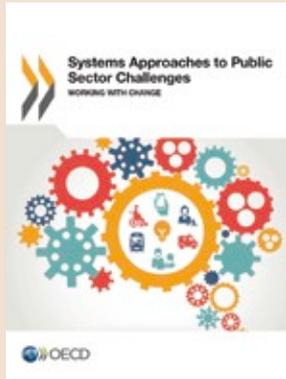
En las secciones siguientes, intentaré esbozar los posibles cursos de acción de los gobiernos en términos generales y en algunas áreas específicas, tales como desarrollo de políticas públicas, sistemas de gobernanza, legislación y reglamentación, seguridad cibernética, tributación, desarrollo de recursos humanos, suministro de servicios públicos y participación de los ciudadanos, big data e implicaciones para la gobernanza global.

### Desarrollo de políticas públicas

El ritmo de los cambios tecnológicos, digitales y sociales ha sido tan acelerado que los gobiernos tienen dificultad de tomar decisiones en políticas públicas e implementar normas para acompañar esos cambios. Los sistemas de decisión actuales, que crecieron en el contexto de la Segunda Revolución Industrial, engloban procesos y etapas extensos (Schwab, 2016).

El ritmo y la complejidad de la 4RI exigen que los gobiernos adopten un abordaje sistémico de los problemas, y no un abordaje paulatino, como fue sugerido por la OCDE y por la Cúpula Mundial de Gobierno en el informe de 2018, titulado “Abrazando la innovación en el gobierno”. Según ese informe, los abordajes sistémicos “son un conjunto de procesos, métodos y prácticas diseñados para afectar el cambio de los sistemas (...), yendo más allá de la lógica lineal del insumo-producto”. En suma, los gobiernos necesitan desarrollar una respuesta

## Tácticas sistémicas para los desafíos del sector público



Abordajes sistémicos de los desafíos del sector público. Trabajando con el cambio

**PERSONAS**

Combinación de conjuntos diversificados de personas: “Si usted conoce a todas las personas de la sala, va a fracasar.”

**LUGAR**

Crear un espacio neutro para deliberar y tomar distancia del sistema cotidiano

**CONSIDERACIÓN**

Crear el tiempo y las condiciones para reflexionar y deliberar sobre el objetivo final

**CONEXIÓN**

Establecer la conexión con todas las partes interesadas, a fin de dar subsidios al proceso y formar coaliciones de defensa

**ENCUADRAMIENTO**

Encuadrar el problema con base en el resultado/objetivo (valor público), no en las estructuras sistémicas existentes

**CONCEPCIÓN**

Con base en el análisis anterior, concebir soluciones que puedan surtir efectos sistémicos

**EXPERIMENTACIÓN**

Reducir la incertidumbre, haciendo experimentos en menor escala, con soluciones diferentes y planes de acción claros

**CREACIÓN DE PROTOTIPOS**

Crear un prototipo en escala que pueda ser probado por diferentes poblaciones

**SUPERINTENDENCIA**

Guiar y respaldar el proceso mediante la creación de recursos y de apoyo político para los cambios

**MEDICIÓN SIGNIFICATIVA**

Medir los efectos en base a los resultados que se desea alcanzar, no en sustitutos

Fuente: OCDE

abarcadora para los problemas interligados traídos por la 4RI.

Los gobiernos también precisan fortalecer su capacidad de diagnosticar problemas, hacer previsiones y construir escenarios alternativos. Según David Lye, director de la Sami Consulting, ellos necesitan volverse “peritos en futuro”.

Algunos órganos gubernamentales desarrollaron instrumentos sofisticados de diagnóstico y previsión, con base en programas de computador. El uso de la inteli-

gencia artificial como herramienta para la toma de decisiones también puede ser explorado. Infelizmente, los políticos de la mayoría de los países proponen soluciones basadas en la ideología, y no en esos instrumentos de diagnóstico.

Precisamos de una nueva era de gobiernos ágiles, con capacidad de adaptación continua al ritmo acelerado de los cambios (Schwab, 2016). De acuerdo con Kris Broekaert y Victoria A. Espinel, gobiernos ágiles formulan

políticas públicas de modo adaptativo, concentrados en alcanzar las metas de las políticas, receptivos a nuevas informaciones y datos y abiertos a los insumos provenientes de un grupo más amplio de partes interesadas.

Los gobiernos necesitan prepararse, en vez de resistir, y crear los mecanismos para administrar la transición. Tradicionalmente, la innovación viene de fuera del gobierno (Jarrar, 2016). Es esencial que los órganos públicos sean for-

talecidos, para que promuevan la innovación dentro de los gobiernos. Deben convertirse en motores de la innovación, en vez de agentes opuestos.

Además de eso, los gobiernos deben volverse facilitadores de la innovación en los negocios y en la sociedad, a fin de prosperar. Un informe titulado “Gov2020”, preparado por la Deloitte para la Cúpula Mundial de Gobierno de 2015, identificó varias tendencias con potencial para producir reformas, tomando en cuenta la 4RI. Los gobiernos se están volviendo facilitadores, en vez de suministradores de soluciones. Así, construyen plataformas para asociaciones entre agentes diversos. El informe también destaca el hecho de que las funciones gubernamentales han sido, cada vez más, creadas en asociación con los ciudadanos. A través de la tecnología y de la colaboración compartida [crowdsourcing], se han desarrollado sistemas de “gobernanza distribuida”. Además de eso, el informe enfatiza lo que mencioné antes: los gobiernos deben ser “peritos en datos”, usando la creación de modelos y el análisis de datos para fines de prevención, y no de reacción.

Los sistemas distribuidos incluyen una descentralización mayor de las responsabilidades de gobiernos centrales para gobiernos regionales y locales, así como la inclusión de múltiples agentes en el proceso de decisión. Dado que las empresas, la sociedad civil y el gobierno son responsables por producir innovaciones, todos también deben colaborar para concebir las medidas necesarias para encontrar las respuestas más apropiadas a los

efectos de la 4RI (Yun, 2018). La gobernanza distribuida también contribuirá mucho para reconquistar la confianza en el gobierno, que ha declinado en los últimos tiempos.

El poder de la tecnología hará al gobierno, forzosamente, más transparente y más pasible de responsabilidad, pues las informaciones sobre las operaciones gubernamentales estarán más disponibles y accesibles, siendo largamente diseminadas. En casos extremos, veremos el crecimiento de fenómenos como Wikileaks.

En términos de contenido, la empresa Access Partnership identifica tres áreas principales a ser abordadas por los gobiernos: promover la infraestructura, crear el incentivo correcto para la adopción de innovaciones y para mayores innovaciones, y optimizar la fuerza de trabajo.

En su informe titulado “Presentando la Cuarta Revolución Industrial: el papel del gobierno”, la empresa se extiende más sobre las tres áreas fundamentales mencionadas arriba. En lo tocante a la infraestructura para participar de la 4RI, el texto recomienda que los gobiernos inviertan recursos de forma estratégica, para dar respaldo a las infraestructuras de internet; que promuevan una internet interoperable y hagan accesible el costo de internet de alta velocidad. Con respecto a la creación de incentivos para que se adopten y promuevan innovaciones, los gobiernos deben estimular la participación en el mercado global de la “hipernube”; apoyar los patrones globales de computación en nube y apoyar la economía movi-

da por datos y prestación de servicios; implementar leyes modernas sobre privacidad y crear estructuras jurídicas sensibles. Por último, con respecto a la tarea de promover una fuerza de trabajo para los empleos del siglo XXI, el gobierno debe aspirar a crear una fuerza de trabajo flexible, dotada de pensamiento crítico y capacidad de resolución de problemas; integrar habilidades digitales en la enseñanza básica; apoyar la enseñanza informática y re-entrenar a los trabajadores para un aprendizaje permanente, de por vida.

**Necesitaremos  
adaptar los  
sistemas de  
gobernanza a una  
realidad nueva,  
haciéndolos más  
flexibles y menos  
fragmentados,  
con mecanismos  
más fuertes de  
coordinación.  
Las legislaciones  
necesitarán ser  
modernizadas.**

Para implementar esas medidas será preciso dar pasos largos para reducir el desfase en la conectividad. Esa es un área en que muchos gobiernos están atrasados.

Para promover la innovación y acelerar los avances tecnológicos, los gobiernos deben mejorar los flujos de capital y promover el crecimiento y desarrollo de las PMEs.

### Sistemas de gobernanza

Como vimos, el advenimiento de la 4RI exigirá modificar los procesos actuales de formulación de

políticas públicas, a fin de volverlos más rápidos, más ágiles y más receptivos. Además de eso, el uso de informaciones y datos, en especial de big data, debe respaldar el proceso de decisión. Finalmente, debe ser fortalecida la participación del gobierno, de las empresas privadas, de la sociedad civil y, cuando sea apropiado, de organizaciones internacionales en la elaboración de soluciones políticas. Además de alterar los procesos de formulación de políticas públicas, será esencial adaptar los sistemas y procesos de gobernanza a la nueva realidad.

Los sistemas actuales son, al mismo tiempo, rígidos y fragmentados, con órganos que a menudo funcionan en compartimientos cerrados, dificultando el desarrollo y la implantación de políticas abarcadoras.

Para enfrentar adecuadamente los desafíos de la 4RI, conviene establecer mecanismos más fuertes de coordinación, que permitan respuestas abarcadoras. Otra opción sería crear nuevas instituciones responsables de administrar la tecnología. Ellas precisarían ser de base multiparticipativa, a fin de



## La nueva revolución industrial provocará cambios también en las políticas educacionales. Precisaremos formar personas mejor adaptadas al nuevo mercado de trabajo y dotadas de fuerte espíritu de liderazgo.

incorporar los estímulos provenientes de las empresas y de la sociedad civil.

Algunos gobiernos optaron por crear una organización gubernamental dedicada, responsable de formular planes estratégicos y manejar cambios. Por ejemplo, el gobierno de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) creó el Ministerio de Gestión del Futuro y del Cambio, un órgano independiente y no partidario que prepara la agenda y desarrolla planes estratégicos; apoya el desarrollo y la reglamentación de políticas públicas; administra e implanta los cambios; y monitorea el progreso. En 2017, ese ministerio publicó un informe titulado “La estrategia de los EAU en la Cuarta Revolución Industrial”, concebido para ofrecer un esbozo práctico a los formuladores de

políticas públicas y apoyar los esfuerzos nacionales en la adopción de tecnologías avanzadas, así como en la transformación de los desafíos del futuro en oportunidades.

Como mencionamos, los sistemas de gobernanza necesitarían ser más descentralizados, confiándose responsabilidades adicionales a regiones y ciudades. Al mismo tiempo, cabría tomar medidas apropiadas para darles apoyo, a fin de habilitarlos para funcionar cada vez más como centros de innovación (Schwab, 2016).

### Legislación y reglamentación

Dado el ritmo acelerado de la 4RI, la legislación y la reglamentación se muestran poco aptas para acompañar esa marcha.

Es esencial que los avances tecnológicos sean reglamentados sin demora, para que produzcan sus efectos positivos y minimicen los negativos. Por consiguiente, los agentes reguladores tienen menos tiempo para evaluar el impacto de las novedades y tomar las decisiones apropiadas. Nuevos mecanismos y procesos para aprobar leyes y expedir normas deben ser desarrollados. La coordinación entre los órganos reguladores también debe ser reforzada, pues la 4RI afecta simultáneamente muchos campos tecnológicos y sociales.

Al mismo tiempo en que protege a la sociedad y los consumidores, la estructura reguladora debe crear un ambiente facilitador, para que las innovaciones prosperen (Schwab, 2016).

Tradicionalmente, los gobiernos son los principales creadores de nor-

mas, pero asistimos al surgimiento de nuevas fuentes de autoridad para gobernar las nuevas tecnologías. El empresariado y la industria pueden presentar soluciones innovadoras sobre la reglamentación, así como establecer normas de auto-regulación. Con el surgimiento de órganos auto-reguladores, los gobiernos podrían actuar como super-reguladores, autorizando y evaluando el trabajo de esos órganos (Broekaert y Espinel, 2018).

En vez de reglamentos, el uso de las mejores prácticas puede lidiar de manera más ágil con nuevos avances rápidos y amplios. Por ejemplo, el Instituto Nacional de Normas y Tecnología de los Estados Unidos, con la contribución del sector privado, de los órganos de gobierno y de comunidades orientadas hacia el siglo y la seguridad, estableció las mejores prácticas para la seguridad cibernética, en vez de crear nuevas normas.

En lo tocante a los contenidos, los nuevos regímenes de propiedad intelectual deben ser reglamentados. Protocolos y patrones éticos de seguridad cibernética necesitan ser adoptados.

### Seguridad cibernética

En la medida en que la tecnología se hace ampliamente accesible, aumenta la posibilidad de que sea usada para fines nocivos. Para protegerse de crímenes cibernéticos, que van de la invasión y robo de bancos de datos, inclusive electorales, a los ataques cibernéticos a instalaciones de energía, salud y transportes, al terrorismo cibernético etc., los gobiernos tendrán que arcar con costos muy elevados (Shava y Hofisi, 2018).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) recomienda un abordaje de cinco componentes para reforzar la seguridad cibernética, incluyendo legislación y reglamentación, medidas técnicas, acuerdos organizacionales, capacitación y cooperación entre Estados.

Así como la UIT, varios especialistas recomiendan la creación de un órgano responsable por la coordinación de los esfuerzos en esa área.

El United Nations e-Government Survey 2018 [Levantamiento de las Naciones Unidas sobre Gobierno Electrónico, 2018] recomienda que los países creen un equipo de respuesta a emer-

gencias computacionales (CERT) o un equipo de respuesta a incidentes de seguridad computacionales (CSIRT), para reaccionar ante situaciones que afecten los computadores o la seguridad cibernética. Destaca también que, fuera de Europa y Asia, los países están muy atrasados en ese esfuerzo.

### Tributación

Los cambios en los patrones económicos han creado serios desafíos para la colecta de impuestos. Sistemas de pago digitales y descentralizados limitan la capacidad de las autoridades fiscales de

mantenerse actualizadas en lo tocante a las transacciones (Schwab, 2016).

Es necesario desarrollar nuevas modalidades de tributación de nuevos tipos de negocios y transacciones financieras. Por ejemplo, Estonia es el primer país en recoger impuestos de transacción por medio de una cadena de bloques de datos [blockchain].

Jinhyo Joseph Yun recomienda que también la estructura nacional de tributación sea reformulada, para redistribuir la renta y el capital que están concentrados en las grandes empresas. Recomienda además que, en vez de tributar el trabajo, que será negativamen-

#### Los cinco componentes de la seguridad cibernética

##### JURÍDICO

Legislación sobre crímenes cibernéticos, ley sustantiva, derecho procesal de crímenes cibernéticos, reglamentación de la seguridad cibernética



##### TÉCNICO

CERT nacional, CERT gubernamental, CERT sectorial, normas para organizaciones, agencia de patronización



##### ORGANIZACIONAL

Estrategia, órgano responsable, medición de la seguridad cibernética



##### CAPACITACIÓN

Concientización de la población, formación profesional, programas nacionales de educación, programas de P&D, mecanismos de incentivo, industria nacional



##### COOPERACIÓN

Cooperación intra-estatal, acuerdos multilaterales, foros internacionales, asociaciones público-privadas, asociaciones entre agencias



te afectado por la 4RI, se tribute la productividad.

En la misma línea, Bill Gates propuso que los robots sean tributados, pues estarán sustituyendo a seres humanos en la cadena productiva.

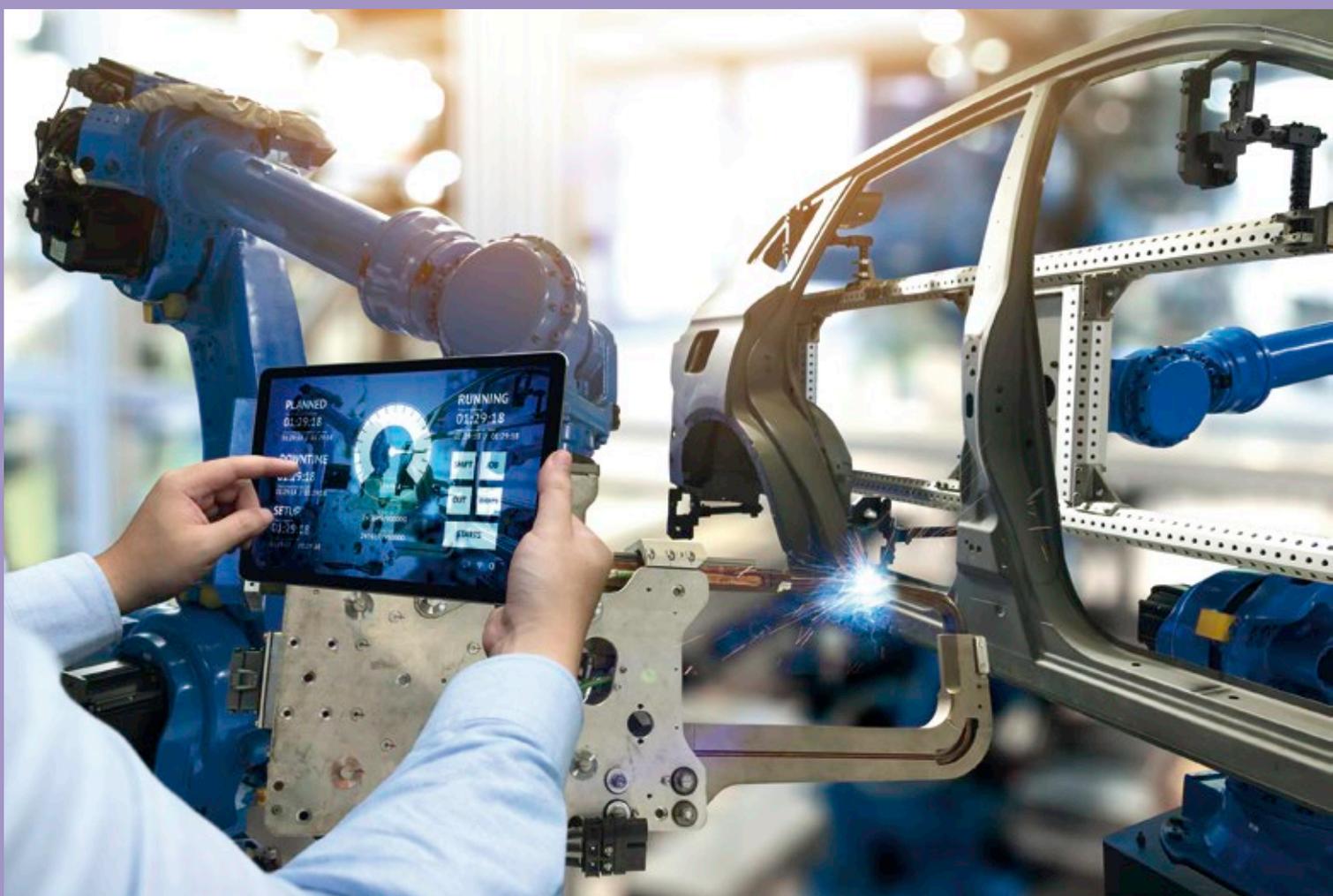
## Recursos humanos

Ya mencionamos la estimativa de que la 4RI surta un efecto negativo en el mercado de trabajo. En la medida en que aumente la necesidad de crear una nueva fuerza de trabajo, el gobierno necesitará

hacer inversiones pesadas en la reforma de las políticas de enseñanza, a fin de garantizar que ellas generen el conocimiento y las habilidades requeridos por el nuevo mercado de trabajo. Las empresas, junto con el gobierno, deben usar las previsiones ya realizadas para determinar cuáles empleos tienden a quedar más sujetos a la automatización y cuáles estarán cada vez más disponibles. A la luz de esas previsiones, se deben desarrollar políticas de enseñanza y formación adecuadas a los cambios previstos.

Además de una nueva fuerza de trabajo, serán necesarios nuevos líderes para dirigir personas que no estarán sentadas en oficinas, sino unidas por medios virtuales (Artley, 2018). Como escribió el profesor Schwab, “precisamos de líderes dotados de inteligencia emocional, capaces de moldear y defender el trabajo cooperativo”.

La falta de calificación de la fuerza de trabajo perjudica el crecimiento económico y tiende a generar desempleo en el sector privado, pero la mano de obra del gobierno también será negativa-



mente afectada. Como vimos, los empleos burocráticos y administrativos deben ser los más propensos a volverse obsoletos. Con el desarrollo adicional de “gobiernos electrónicos”, las organizaciones gubernamentales necesitarán de menos equipos administrativos. En vez de ellos, necesitarán de personal con formación en computadoras. Por eso, los gobiernos deben entrar con urgencia en programas macizos de re-entrenamiento de sus funcionarios.

En el informe “Gov2020”, la Deloitte propone que el gobierno

modifique sus prácticas de contratación, aplicando el modelo de equipos de consultores a su fuerza de trabajo. Él usaría empleados participantes en iniciativas conjuntas, empleados de suministradores, contratistas o suministradores individuales independientes y otras personas sin ningún vínculo laboral con el gobierno, pero que hacen parte de una valiosa cadena de servicios.

Existe, sin embargo, un conjunto de habilidades que serían muy solicitadas y no pueden ser ejercidas por máquinas. Se trata de la creatividad e innovación, liderazgo, inteligencia emocional, adaptabilidad y resolución de problemas. De acuerdo con un levantamiento hecho por la OCDE, un gran porcentaje de las organizaciones indicó que era difícil o muy difícil reclutar personas dotadas de esas habilidades.

### Prestación de servicios públicos y participación de los ciudadanos

Los avances de la 4RI pueden acelerar y optimizar la prestación de servicios del gobierno a los ciudadanos. Los gobiernos también podrían introducir métodos usados por compañías privadas para ofrecer servicios públicos de manera más eficiente, rápida y flexible (Klugman, 2018).

El United Nations 2018 e-Government Survey “destaca una persistente tendencia global positiva para niveles más altos de desarrollo del e-gobierno (...). Los países vienen avanzando para niveles más altos de e-gobierno (...). El número de países que ofrecen

servicios online, usando e-mails, actualizaciones de noticias por SMS/RSS, aplicativos de teléfonos celulares y formularios que pueden ser bajados de Internet, han aumentado en todos los sectores (...). La prestación de servicios a través de aplicativos de celular crece más deprisa en los sectores de educación, empleo y medio ambiente.”

El informe también señala que surgieron asociaciones público-privadas (PPPs) innovadoras, como modelos de prestación de servicios públicos y beneficios sociales en áreas como educación, salud y sustentabilidad ambiental.

Conforme avanza la tecnología y las comunicaciones e informaciones migran para plataformas digitales, “los ciudadanos modifican su abordaje para interactuar con órganos y servicios de gobierno. Una relación más horizontal, espontánea y empoderadora viene desarrollándose, en contraste con la relación jerárquica tradicional” (Jarrar, 2017).

Hay una oportunidad de vincular y dar poder a los ciudadanos, ofreciendo plataformas digitales para buscar la opinión de ellos; de involucrarlos en la toma de decisiones; de concebir y prestar servicios; de aumentar el control y la prestación de cuentas de los órganos públicos.

La Organización de las Naciones Unidas mide la participación de los ciudadanos en los asuntos públicos a través de un Índice de Participación Electrónica (IPE). En su informe de 2018, ella observó que el número de países con un IPE altísimo dobló de 31 para 62 desde 2016, lo que de-

**Gobiernos y empresas manejarán cantidades crecientes de datos, de mayor número de fuentes. Volumen, variedad, velocidad y veracidad son los cuatro conceptos que orientan ese trabajo.**

muestra la velocidad con que las nuevas tecnologías pueden alterar las relaciones entre gobiernos y ciudadanos.

## Big data

Mencionamos hace poco cómo es crucial la disponibilidad de datos para las tomas de decisión.

El volumen de datos, que crece exponencialmente, dio origen al concepto de “big data”, definido por los cuatro “Vs”: volumen, variedad de fuentes, velocidad y veracidad (Jarrar, 2017). El desafío primario es tener capacidad para usar y gerenciar big data, tanto por parte de las empresas como del gobierno.

Los datos se volvieron una fuente de riqueza, descrita por algunos como “el nuevo petróleo” o como la “tabla de salvación de la sociedad digital” (Jarrar, 2017). Hoy, la mayoría de los datos pertenece al sector privado, pero los gobiernos también producen y almacenan una cantidad considerable de ellos. Una vez que los datos pueden ser efectivamente monetizados, surge la cuestión de saber quién debe tener su posesión.

Es necesaria una nueva legislación para reglamentar la manera de almacenar, gerenciar, compartir y proteger datos. Algunos especialistas recomiendan la creación de una “carta de datos”. Los datos pueden ser considerados un “bien social”, y por eso el gobierno es responsable por su uso para producir valor público. Por consiguiente, es posible que el gobierno necesite adquirir una nueva compe-

tencia, la de “curador de datos” (Jarrar, 2017).

Como los datos son esenciales para crear valor público, cada vez más los gobiernos los disponibilizan para la sociedad civil, las empresas y los individuos. Los llamados “datos abiertos de gobierno” (DAG) ayudan a mejorar la prestación de servicios en áreas como salud, educación, medio ambiente, bienestar social etc. De acuerdo con la ONU, el número de países que poseen portales con datos abiertos llegó a 139.

En el intento de promover el uso de los grandes datos de manera segura y responsable, como un bien público, la ONU lanzó una iniciativa llamada Pulso Global, que pretende acelerar el descubrimiento, el desarrollo y la adopción en escala de la innovación en big data, en pro del desarrollo sostenible y de la acción humanitaria.

## Implicaciones para la gobernanza mundial

El advenimiento de la 4RI viene teniendo un impacto que ultrapasa mucho las fronteras nacionales, exigiendo la preparación de nuevos acuerdos y posiblemente, la creación de nuevos mecanismos de gobernanza global. De acuerdo con el profesor Schwab, “precisamos de una visión abarcadora y globalmente compartida de cómo la tecnología afecta las vidas”. Un informe preparado para la reunión del G20 de 2017, en Alemania, destaca la falta de un “régimen global de gobernanza tecnológica”.

El mismo informe incluye varias recomendaciones: el G20 de-

be defender estructuras internacionales de gobernanza tecnológica; debe identificar y promover salvaguardas esenciales, para garantizar una 4RI sustentable y minimizar consecuencias negativas no pretendidas; debe promover un esfuerzo coordinado de gobiernos y agentes reguladores para identificar y gerenciar los riesgos sistémicos provenientes de la 4RI; y debe estimular a los países a desarrollar políticas responsables de tecnología, que incluyan el uso de consideraciones sociales y ambientales en las estrategias digitales de los diversos países.

Por último, conviene tener en mente que el avance de las nuevas tecnologías también tendrá impacto en la seguridad internacional y afectará la naturaleza de los conflictos (Schwab, 2016). Por eso, será necesario establecer un nuevo mecanismo internacional de resolución de conflictos (Segal, 2017).

El Fórum Económico Mundial es la organización internacional que ha sido más actuante para destacar las rápidas transformaciones introducidas por la 4RI y sus impactos. Para fomentar un “diálogo de las múltiples partes interesadas y su cooperación concreta en los desafíos y oportunidades presentados por las tecnologías avanzadas”, el Fórum abrió un Centro de la Cuarta Revolución Industrial, localizado en San Francisco. La misión del Centro, que reúne gobiernos, sociedad civil, el mundo de los negocios, círculos académicos y organizaciones internacionales, es “facilitar la concepción conjunta, la

prueba y el perfeccionamiento de protocolos de gobernanza y estructuras de políticas públicas, a fin de maximizar los beneficios sociales y minimizar los riesgos de la ciencia y la tecnología avanzadas”.

## Conclusiones

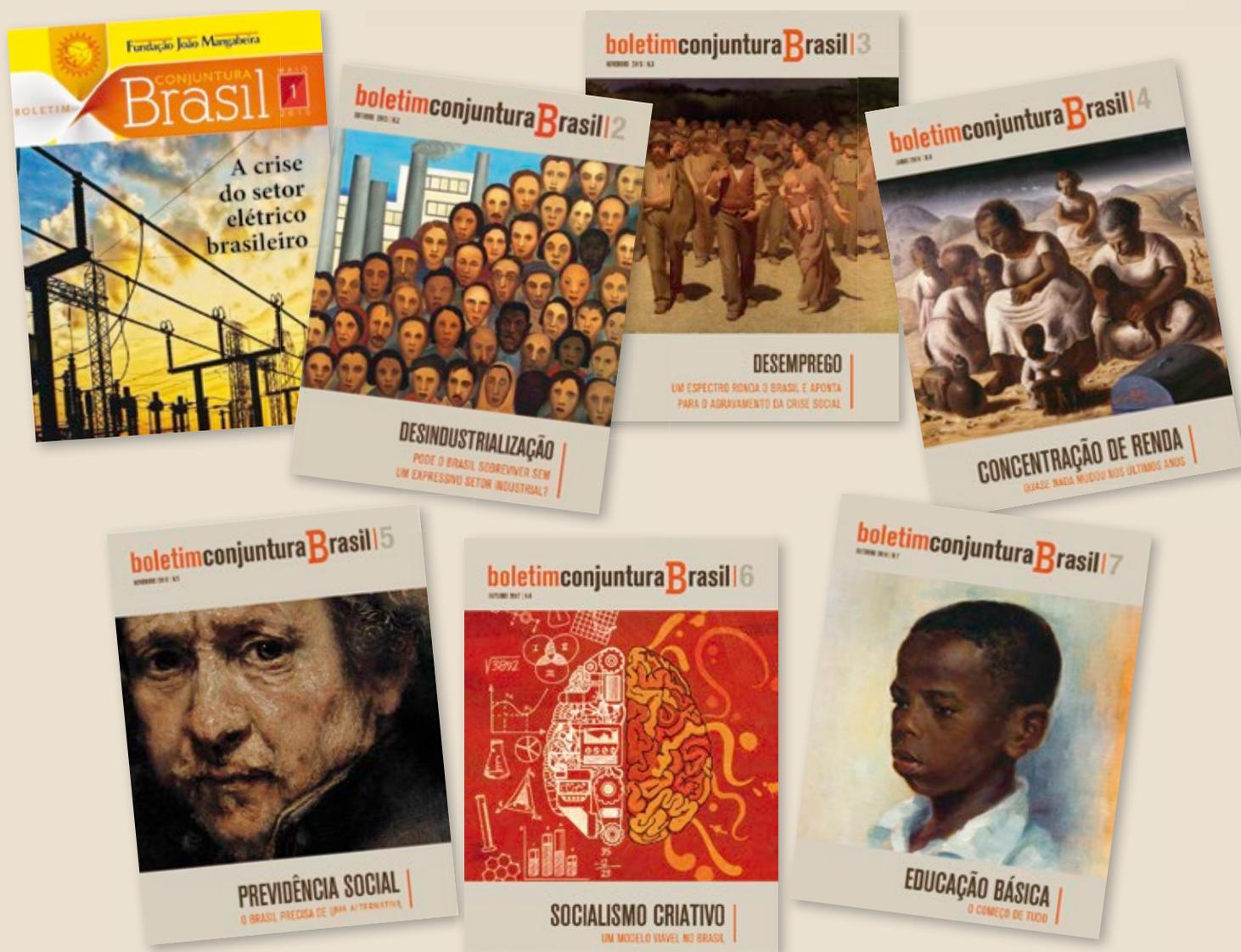
¿Será que la 4RI nos ayudará a mejorar nuestros patrones de vida, nuestro bienestar y nuestro medio ambiente? El potencial es enorme, pero los riesgos también. Los cambios tecnológicos son tan rápidos que empresas y gobiernos se ven constantemente en un juego para “recuperar el atraso”. Para que no sean superados por los avances, se hace necesario un abordaje proactivo y anticipatorio. Los gobiernos, en cooperación con las empresas y la sociedad civil, necesitan desarrollar estrategias abarcadoras y de largo plazo, que incluyan medidas políticas, reguladoras y estructurales. Será necesario concebir nuevos paradigmas de gobernanza nacional, a fin de permitir una toma de decisiones que sea rápida, ágil y participativa. Como los avances científicos y tecnológicos surten efectos que ultrapasan las fronteras nacionales, también será necesario reformular los acuerdos de gobernanza global para facilitar respuestas globales, particularmente en las áreas de crímenes cibernéticos y terrorismo cibernético. ¿Puede el G20 constituir el fórum que va a liderar la acción global para enfrentar los desafíos? ■

## Referencias bibliográficas

- Access Partnership, *Delivering the Fourth Industrial Revolution: the Role of Government*, 2017.
- ARTLEY, J., *How to be a leader in the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2018.
- BENIOFF, Marc, *We must ensure the Fourth Industrial Revolution is a force for good*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2017.
- BROEKAERT, K., e V. Espinel, *How can policy keep pace with the Fourth Industrial Revolution?*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2018.
- COLEMAN, G., *The next industry revolution will not be televised*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2016.
- DELOITTE y Global Business Coalition for Education [Coalición Global de Empresas en pro de la Educación], *Preparing tomorrow's workforce for the Fourth Industrial Revolution*, Deloitte, 2017.
- DELOITTE, *GOV2020: A Journey into the Future of Government*, Cúpula Mundial de Gobierno, 2015.
- JARRAR, Yasar, *What is the role of government in the digital age?*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2017.
- KLUGMAN, Iain, *Why governments need to respond to the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2018.
- LYE, David, *The Fourth Industrial Revolution and Challenges for Government*, Brink Global Risk Center, 2017.
- MAGYAR, J., *Will the fourth industrial revolution improve the state of the world?*, La Cuarta Revolución Industrial, Fórum Económico Mundial, Davos, 2016.
- OCDE y Cúpula Mundial de Gobierno, *Embracing Innovation in Government-Global Trends 2018*, Cúpula Mundial de Gobierno, Dubai, 2018.
- REIF, Rafael, *A survival guide to the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2018.
- SEGAL, Arik, “Conflict Resolution in the Fourth Industrial Revolution”, *Open Mind*, 2017.
- SCHWAB, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2016.
- SCHWAB, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*, Fórum Económico Mundial, Coligny/Ginebra, 2016.
- SHAVA, E., y C. Hofisi, “Challenges and Opportunity for Public Administration in the Fourth Industrial Revolution”, *African Journal of Public Affairs*, 2018.
- SHUKLA, A., *Society, Governance and the Fourth Industrial Revolution*, Nueva Delhi: Ank Aha, 2017.
- RAO, V., M. Srinagesh y J. Sreedhar, “The Fourth Industrial Revolution: Impact of Government and Society on Business – A Comprehensive Study”, *International Journal on Research and Debelopment - A Management Review*, vol. 6, I, Institute for Research and Development India.
- Emirados Árabes Unidos, Ministerio de Asuntos de Gabinete y del Futuro, *UAE's Fourth Industrial Revolution Strategy*.
- Organización de las Naciones Unidas, *E-Government Survey 2018*, Nueva York: United Nations, 2018.
- Varios colaboradores, *Enabling a Sustainable Fourth Industrial Revolution: How the G20 Countries can create the conditions for emerging technologies to benefit people and the planet*, Policy Brief in G20 Insights, 2017.
- Fórum Económico Mundial, *Report of the Annual Meeting: Mastering the Fourth Industrial Revolution*, Davos-Kloster, enero de 2016.
- YUN, J. J. et al., *How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation*, Basilea: MDPI AG, 2018.

# Boletim Conjuntura Brasil

La Fundación João Mangabeira presenta un boletín periódico con temas de relevancia nacional para el desarrollo del país. Lea, participe de los debates y de su contribución a Brasil. Accese a la colección por el site o envíe la dirección de su institución para recibir el impreso.



Accese a las publicaciones por el QR Code o por el site:  
[www.fjmangabeira.com.br](http://www.fjmangabeira.com.br)



Fundação  
João Mangabeira



# MIGUEL ARRAES

## HÉROE DE LA PATRIA



**MIGUEL ARRAES FUE INCLUIDO EN EL LIBRO *HÉROES Y HEROÍNAS DE LA PATRIA*, POR SU ACTUACIÓN EN PRO DE BRASIL.**

